

32/446(-21) 2^e ex

Relatie tussen kwel- en wegzijgingsgebieden in het landinrichtingsproject Roden-Norg

**H.Th.L. Massop
K.E. Wit**

Rapport 221

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1993

+ 5 krt
23 FEB. 1994

10n 589179⁸

REFERAAT

Massop, H.Th.L. en K.E. Wit, 1993. *Relatie tussen kwel- en wegzijgingsgebieden in het landinrichtingsproject Roden-Norg*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 221; 92 blz.; 61 fig.; 13 tab.

In het landinrichtingsproject Roden-Norg is een onderzoek uitgevoerd naar de relatie tussen kwel- en wegzijgingsgebieden in vijf raaien. De berekeningen zijn uitgevoerd in een dwarsdoorsnede met het model STRELIN voor verschillende zomer- en winterhalfjaren (nat, gemiddeld en droog). Ten aanzien van de berekeningen komen twee bijzondere situaties voor: divergerende en convergerende stroomlijnen, en verschillen in stromingsrichting in de watervoerende pakketten. Uit de berekeningen zijn de begrenzingen tussen de hydrologische systemen afgeleid. Tevens geven de berekeningen inzicht in de ouderdom van het kwelwater. Met gegevens van de modelberekeningen is voor een deel van het landinrichtingsgebied een ruimtelijke interpretatie gegeven van kwel- met bijbehorende wegzijgingsgebieden. Voor raaien met potklei in de ondergrond worden lage waarden gevonden voor kwel en wegzijging in tegenstelling tot gebieden waar de potklei ontbreekt. Verschillen tussen hydrologische systemen zijn voornamelijk een gevolg van verschil in meteorologische omstandigheden tussen de tijdvakken.

Trefwoorden: divergentie, convergentie, stroomlijn, verblijftijd, hydrologisch systeem

ISSN 0927-4499

©1993 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)
Postbus 125, 6700 AC Wageningen
Tel.: 08370-74200; telefax: 08370-24812.

DLO-Staring Centrum is een voortzetting van: het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), het Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen, afd. Milieu (IOB), de Afd. Landschapsbouw van het Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw "De Dorschkamp" (LB), en de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA).

DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO-Staring Centrum.

INHOUD

	Blz.
WOORD VOORAF	9
SAMENVATTING	11
1 INLEIDING	15
2 GEOHYDROLOGISCHE SCHEMATISATIE	17
2.1 1 ^e laag (afdekkend pakket)	17
2.2 2 ^e laag (1 ^e watervoerend pakket)	18
2.3 3 ^e laag (1 ^e scheidende laag)	19
2.4 4 ^e laag (2 ^e watervoerend pakket)	19
3 LOCATIE DWARSRAAIEN	21
4 SELECTIE ZOMER- EN WINTERHALFJAREN	23
5 KOPPELING SIMGRO-STRELIN	27
5.1 Randfluxen STRELIN	28
5.1.1 Raai 1	29
5.1.2 Raai 2	30
5.1.3 Raai 3	33
5.1.4 Raai 4	36
5.1.5 Raai 5	38
5.2 Randfluxen in relatie tot het weertype voor zomer- en winterhalfjaren	40
6 BEREKENINGEN MET STRELIN	43
7 RUIMTELIJKE INTERPRETATIE VAN DE TRANSECTEN	47
7.1 Raai 1	47
7.2 Raai 2	47
7.3 Raai 3, 4 en 5	47
LITERATUUR	49
TABELLEN	
1 Neerslag en onderschrijdingskans (winterhalfjaar)	24
2 Neerslagoverschot en onderschrijdingskans (zomerhalfjaar)	25
3 Neerslagoverschot en neerslag in zomer- en winterhalfjaren naar weertype voor station Eelde	25
4 Aanvoertermen (instroming en wegzijging) en afvoertermen (uitstroming en kwel) voor raai 1	30
5 Kwel/wegzijging met breedte van bijbehorende strook	30
6 Aanvoertermen (instroming en wegzijging) en afvoertermen (uitstroming en kwel) voor raai 2 voor 1 ^e watervoerend pakket	32
7 Kwel/wegzijging met breedte van bijbehorende strook	32

8	Aanvoertermen (instroming en wegzijging) en afvoertermen (uitstroming en kwel) voor raai 3	36
9	Kwel/wegzijging met breedte van bijbehorende strook	36
10	Aanvoertermen (instroming en wegzijging) en afvoertermen (uitstroming en kwel) voor raai 4	37
11	Kwel/wegzijging met breedte van bijbehorende strook	38
12	Aanvoertermen (instroming en wegzijging) en afvoertermen (uitstroming en kwel) voor raai 5	39
13	Kwel/wegzijging met breedte van bijbehorende strook	39

FIGUREN

1	Geohydrologische schematisatie van de ondergrond	17
2	Lijnen van gelijke cumulatieve frequentie van de totale neerslaghoeveelheid in De Bilt gerekend vanaf 1 oktober tot 1 april	23
3	Lijnen van gelijke cumulatieve frequentie van het potentiële neerslagoverschot in De Bilt gerekend vanaf 1 april tot 1 oktober	24
4a	Schematisatie van dunne watervoerende pakketten	28
4b	Schematisatie van dunne weerstandbiedende lagen	28
5	Schema raai 1	29
6	Schema raai 2	31
7	Voorbeeld van convergerende stroomlijnen	33
8	Divergentiefactoren voor het 1 ^e watervoerende pakket van raai 3	33
9	Schematisering van de stroming in raai 3	34
10	Schema raai 3	35
11	Convergentiefactoren voor het 1 ^e en 2 ^e watervoerende pakket van raai 4	36
12	Schema raai 4	37
13	Convergentiefactoren voor het 1 ^e en 2 ^e watervoerende pakket van raai 5	38
14	Schema raai 5	39
15	Kwel en wegzijging	40
16	Fluxen naar en uit het 2 ^e watervoerende pakket	41
17	Gemiddelde ouderdom kwelwater in raai 3	44
18	Gemiddelde ouderdom kwelwater in raai 4	45
19	Gemiddelde ouderdom kwelwater in raai 5	45

Vanaf pagina 51:

20	Locatie dwarsraaien
21	Isohypsenkaart 1 ^e watervoerend pakket (april 1987)
22	Isohypsenkaart 2 ^e watervoerend pakket (april 1987)
23	Koppeling SIMGRO en STRELIN
24	Geohydrologische gegevens zoals deze zijn opgenomen in het invoerbestand STRELIN.DAT
25	Maaiveld, grondwaterstand en stijghoogteverloop in raai 2
26	Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 1, droge winter 1 okt. 84 - 1 apr. 85

- 27 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 1, gemiddelde winter
1 okt. 85 - 1 apr. 86
- 28 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 1, droge zomer 1 apr. 86 -
1 okt. 86
- 29 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 1, natte winter 1 okt. 86 -
1 apr. 87
- 30 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 1, natte zomer 1 apr. 87 -
1 okt. 87
- 31 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 1, gemiddelde zomer
1 apr. 88 - 1 okt. 88
- 32 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 2, droge winter 1 okt. 84 -
1 apr. 85
- 33 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 2, gemiddelde winter
1 okt. 85 - 1 apr. 86
- 34 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 2, droge zomer 1 apr. 86 -
1 okt. 86
- 35 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 2, natte winter 1 okt. 86 -
1 apr. 87
- 36 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 2, natte zomer 1 apr. 87 -
1 okt. 87
- 37 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 2, gemiddelde zomer
1 apr. 88 - 1 okt. 88
- 38 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 3, droge winter 1 okt. 84 -
1 apr. 85
- 39 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 3, gemiddelde winter
1 okt. 85 - 1 apr. 86
- 40 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 3, droge zomer 1 apr. 86 -
1 okt. 86
- 41 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 3, natte winter 1 okt. 86 -
1 apr. 87
- 42 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 3, natte zomer 1 apr. 87 -
1 okt. 87
- 43 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 3, gemiddelde zomer
1 apr. 88 - 1 okt. 88
- 44 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 4, droge winter 1 okt. 84 -
1 apr. 85
- 45 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 4, gemiddelde winter
1 okt. 85 - 1 apr. 86
- 46 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 4, droge zomer 1 apr. 86 -
1 okt. 86
- 47 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 4, natte winter 1 okt. 86 -
1 apr. 87
- 48 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 4, natte zomer 1 apr. 87 -
1 okt. 87
- 49 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 4, gemiddelde zomer
1 apr. 88 - 1 okt. 88
- 50 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 5, droge winter 1 okt. 84 -
1 apr. 85

WOORD VOORAF

In opdracht van de Landinrichtingsdienst heeft DLO-Staring Centrum in 1991 en 1992 een onderzoek uitgevoerd naar de relatie tussen kwel- en wegzijgingsgebieden in het landinrichtingsproject Roden-Norg.

Het project werd vanuit de Landinrichtingsdienst begeleid door ir J.M. Geraedts en drs. W.J.M. Kok.

SAMENVATTING

In 1991 is voor het landinrichtingsproject Roden-Norg hydrologisch onderzoek uitgevoerd. Hiervoor heeft in eerste instantie de Landinrichtingsdienst met het grondwatermodel SIMGRO de waterhuishouding in de huidige situatie gemodelleerd. Met de resultaten van de modelberekeningen kunnen hydrologische effecten van ingrepen op de waterhuishoudkundige situatie voor zowel de landbouw als de natuurgebieden worden aangegeven, in veranderingen in de grondwaterstand en/of kwelintenseit. Bij de keuze van de te treffen waterhuishoudkundige maatregelen is tevens inzicht nodig in de relatie tussen kwel en wegzijgingsgebieden, en de veranderingen hierin als gevolg van de waterhuishoudkundige ingrepen. Voor een nadere beantwoording van deze vraag heeft DLO-Staring Centrum aanvullend modelonderzoek uitgevoerd in 1992.

Bij de relatie tussen kwel- en wegzijgingsgebieden spelen een rol:

- ligging van wegzijgingsgebieden bij de uit het oogpunt van natuur belangrijke kwelgebieden;
- tracering van de stroombanen, afgelegde weg (doorstroomde formaties);
- bepaling van de verblijftijden.

Inzicht in genoemde aspecten is van belang in verband met het effect van ingrepen in de waterhuishouding op de betreffende kwelgebieden. Hierom heeft de Landinrichtingsdienst opdracht gegeven om in vijf representatieve dwarsraaien met het model STRELIN de grondwaterstroming in een verticaal vlak door te rekenen. De ligging van de raaien is aangegeven door de Landinrichtingsdienst.

Het kenmerkende verschil tussen de modellen SIMGRO en STRELIN is dat bij SIMGRO de ruimtelijke variabiliteit van de geohydrologische eigenschappen wordt toegekend aan knooppunten en dat bij STRELIN in een profieldoorsnede de geohydrologische eigenschappen hierop worden geprojecteerd. Bovendien heeft STRELIN de mogelijkheid de profieldoorsnede gedetailleerd in te delen in compartimenten. In het model SIMGRO is de grondwaterstroming geschematiseerd tot horizontale stroming in de watervoerende pakketten en verticale stroming over weerstandbiedende lagen. Het model STRELIN kent een indeling in compartimenten, waarbij het mogelijk is zowel verticaal als horizontaal de geohydrologische eigenschappen te detailleren. Met het model is inzicht te krijgen in de weg die een waterdruppel volgt bij het doorstromen van de verschillende geohydrologische formaties. Tevens wordt hierbij informatie verkregen over de verblijftijd van het waterdeeltje.

Voor de modelberekeningen met SIMGRO is de ondergrond geschematiseerd tot een 4-lagensysteem, bestaande uit twee watervoerende pakketten gescheiden door een scheidende laag en afgedekt door een afdekkend pakket. Per knooppunt is informatie ingevoerd betreffende de doorlatendheden en de dikte van de onderscheiden lagen.

Bij de modelberekeningen met STRELIN zijn zowel invoergegevens als resultaten van de berekeningen met het model SIMGRO gebruikt.

De gegevens van maaiveldhoogte, dikte onderscheiden lagen en doorlaatfactoren zijn ontleend aan SIMGRO. Er is een aparte procedure (PLOTSEC) ontwikkeld om de gegevens uit SIMGRO zodanig weg te schrijven dat deze direct als invoer zijn te gebruiken voor SIMGRO.

Om inzicht te krijgen in veranderingen als gevolg van verschillen in klimatologische omstandigheden zijn 6 weersituaties geselecteerd. Hierbij is onderscheid gemaakt in winter- en zomerhalfjaren. Voor elk is een natte, gemiddelde en droge situatie geselecteerd. Voor de zes weerjaren zijn vervolgens berekeningen uitgevoerd met STRELIN. Daartoe dienen op de modelrand fluxen of stijghoogten te worden ingevoerd. Bij de berekeningen is gebruik gemaakt van fluxen, die zijn ontleend aan de rekenresultaten van SIMGRO.

Daar de bovenste laag als afdekkend pakket is gemodelleerd, waarin de stroming verticaal is, is de kwel/wegzijgingsflux tussen de 1^e en 2^e laag toegekend aan de bovenrand van de doorsnede. Voor de compartimenten van de zijranden berekent PLOTSEC fluxen op grond van kD-waarden en stijghoogtegradiënten. De flux door de basis van het 2^e watervoerende pakket is gelijk aan 0 m²/d (geohydrologische basis). Deze procedure is voor alle raaien toegepast, daarnaast komen in een aantal raaien enkele bijzondere situaties voor die aan de hand van raai 3 worden toegelicht.

Raai 3 is op te delen in twee trajecten nl. in een gedeelte van de raai waarin potklei voorkomt in de ondergrond en in het andere gedeelte waarin de potklei ontbreekt. Dit leidt tot twee bijzondere situaties nl.:

- in het gebied zonder potklei komt divergentie van stroomlijnen voor;
- in het gebied met potklei is de stromingsrichting in de beide watervoerende pakketten verschillend.

De stromingsintensiteit in het 1^e en 2^e watervoerend pakket kan als gevolg van kwel en wegzijging af- of toenemen. Als gevolg van kwel of wegzijging kan de afstand tussen de stroomlijnen toe- of afnemen. Dit wordt aangeduid met convergentie of divergentie van stroomlijnen.

In de oorspronkelijke versie van model STRELIN kunnen divergentie en convergentie van stroomlijnen niet worden meegenomen. Om toch dit model in deze situatie te kunnen toepassen is met een uitgebreide versie van STRELIN gerekend, d.w.z. er is een derde dimensie toegevoegd aan de dwarsdoorsnede. Met deze extra dimensie is divergentie in rekening te brengen door de beschouwde raai een variabele dikte te geven. De dikte is afgeleid uit het isohypsenverloop.

Voor het gedeelte van de raai met potklei is de stromingsrichting in de beide watervoerende pakketten verschillend. Voor de berekeningen met STRELIN is de stromingsrichting in het 1^e watervoerend pakket als uitgangspunt genomen voor de ligging van de raai. Dit impliceert dat de stroming in het 2^e watervoerend pakket, voorzover deze onder de potklei ligt, niet overeenkomt met de raaidoorsnede. Dit probleem is opgelost door met een fictieve flux te rekenen over de rand van het 2^e watervoerend pakket. Om deze fictieve flux te bepalen is een waterbalans opgesteld voor het 1^e watervoerend pakket voor zover dit is gelegen in het raai gedeelte met

potklei. Het resultaat is de kwel/wegzijging door potklei. Verder is de stromingsintensiteit in het 2^e watervoerend pakket bepaald ter plaatse van de raai, waar de potklei begint. Uit deze twee gegevens is vervolgens de fictieve flux over de ontbrekende rand van het tweede watervoerend pakket af te leiden.

Als resultaat van een berekening met het model STRELIN worden stroomlijnen en equipotentiaallijnen in een aantal figuren gegeven. Tussen twee opeenvolgende stroomlijnen stroomt eenzelfde flux. Op basis van deze figuren is een indeling gemaakt in hydrologische systemen dat wil zeggen wegzijgings- en kwelgebieden die door stroomlijnen zijn verbonden. Als gevolg van verschil in weertype zal de verbreiding van de systemen veranderen; de systemen zijn dus niet statisch. Tevens kunnen als gevolg van verschillen in klimatologische omstandigheden waterdeeltjes van systeem wisselen.

Naast de tracerings van stroombanen is de verblijftijd van de waterdeeltjes binnen de onderscheiden systemen van belang in verband met de kwaliteit van het kwelwater. Deze varieert als gevolg van verschil in lengte van de afgelegde weg voor de verschillende waterdeeltjes. In het overgangsgebied van wegzijging naar het bijbehorende kwelgebied komen relatief korte verblijftijden voor, deze nemen toe op grotere afstand van het overgangsgebied. Verder heeft de grootte van het hydrologisch systeem invloed op de maximale verblijftijd, alsmede de grootte van de wegzijgingsflux.

Op basis van de rekenresultaten in de vijf raaien is een ruimtelijke vertaling uitgevoerd waarbij gebruik is gemaakt van het isohypsenbeeld, verbreiding potklei en topografie.

Voor de raaien 1 en 2, waarbij in de ondergrond over het grootste deel of over de gehele lengte potklei voorkomt, wordt verreweg het grootste deel van het neerslagoverschot direct afgevoerd naar het oppervlaktewater als gevolg van de afvoerrelatie van de 1^e laag. Voor deze raaien worden lage waarden gevonden voor kwel en wegzijging, in tegenstelling tot gebieden waar de potklei grotendeels ontbreekt (raai 3 t/m 5). Voor deze raaien liggen de wegzijging en de kwel in de winter op een hoger niveau dan in de zomer, en voor de winterperiode is een duidelijke relatie tussen de grootte van de wegzijging en het weertype.

Voor de raaien 3 t/m 5 zijn de verschillen in de randfluxen voor het 1^e en het 2^e watervoerend pakket gering. Verschillen tussen hydrologische systemen zijn voornamelijk een gevolg zijn van verschillen in meteorologische omstandigheden tussen de zes tijdvakken.

1 INLEIDING

In het landinrichtingsproject Roden-Norg is de ontwatering voor landbouw plaatselijk niet optimaal; daarnaast komen echter ook in belangrijke mate natuurgebieden voor, waarin de huidige grondwatersituatie dient te worden behouden of waarin zo mogelijk de vroegere grondwatersituatie dient te worden hersteld. In het algemeen houdt dit laatste een vernatting in.

Voor een onderbouwing van de planvorming in het gebied voor de waterhuishouding is een hydrologisch modelonderzoek uitgevoerd. Met het grondwatermodel SIMGRO heeft de Landinrichtingsdienst de waterhuishouding in de huidige situatie gemodelleerd. Hierdoor kunnen hydrologische effecten van ingrepen op de waterhuishoudkundige situatie voor zowel de landbouw- als de natuurgebieden worden aangegeven. Deze effecten betreffen veranderingen in de grondwaterstand en/of kwel. Een evaluatie van de hydrologische effecten zal uiteindelijk moeten leiden tot een keuze voor de te treffen waterhuishoudkundige maatregelen. Een belangrijk aspect hierbij is tevens de relatie tussen kwel- en wegzijgingsgebieden en de veranderingen welke hierin zullen optreden als gevolg van de waterhuishoudkundige ingrepen. Uit een hydrologische systeemanalyse en het hydrologische modelonderzoek zijn de kwel- en wegzijgingsgebieden te lokaliseren. Bij de relatie tussen deze gebieden - hydrologische systemen- zijn van belang de tracerings van stroombanen naar de kwelgebieden, verblijftijden, de kwelintensiteit en het grondgebruik in de wegzijgingsgebieden in verband met kwalitatieve aspecten.

Voor het verkrijgen van inzicht in deze processen heeft DLO-Staring Centrum in opdracht van de Landinrichtingsdienst in een aantal representatieve dwarsraaien met het model STRELIN de grondwaterstroming in een verticaal vlak berekend. De berekeningen dienen te worden uitgevoerd voor zes situaties, namelijk een zomer- en een winterhalfjaar met drie weertypen: droog, gemiddeld en nat. Bij het onderzoek is gebruik gemaakt van de (geo-)hydrologische schematisatie voor SIMGRO en de hiermee verkregen rekenresultaten.

Als onderdeel van de uitgevoerde opdracht is tevens aandacht besteed aan de koppeling SIMGRO-STRELIN. Dit aspect is met name relevant voor de eventueel nog uit te voeren berekeningen met STRELIN voor een evaluatie van effecten tengevolge van voorgenomen waterhuishoudkundige maatregelen.

2 GEOHYDROLOGISCHE SCHEMATISATIE

Bij de berekeningen met STRELIN worden resultaten van SIMGRO (Poelman et al., 1993) gebruikt. Dit uitgangspunt impliceert dat de geohydrologische schematisering van de ondergrond en de hydrologische parameterwaarden voor beide modellen identiek moeten zijn. Het kenmerkende verschil tussen SIMGRO en STRELIN is dat bij het model SIMGRO de ruimtelijke variabiliteit van de geohydrologische eigenschappen wordt toegekend aan knooppunten en dat bij het model STRELIN (Groenendijk, 1990) in een profieldoorsnede de geohydrologische eigenschappen van aanliggende knooppunten hierop worden geprojecteerd (fig. 23). In de profieldoorsnede vindt verder een meer gedetailleerde indeling in compartimenten plaats. Voor de berekeningen met SIMGRO is de ondergrond van het modelgebied geschematiseerd tot een 4-lagensysteem van slechtdoorlatende lagen en watervoerende pakketten (fig. 1).

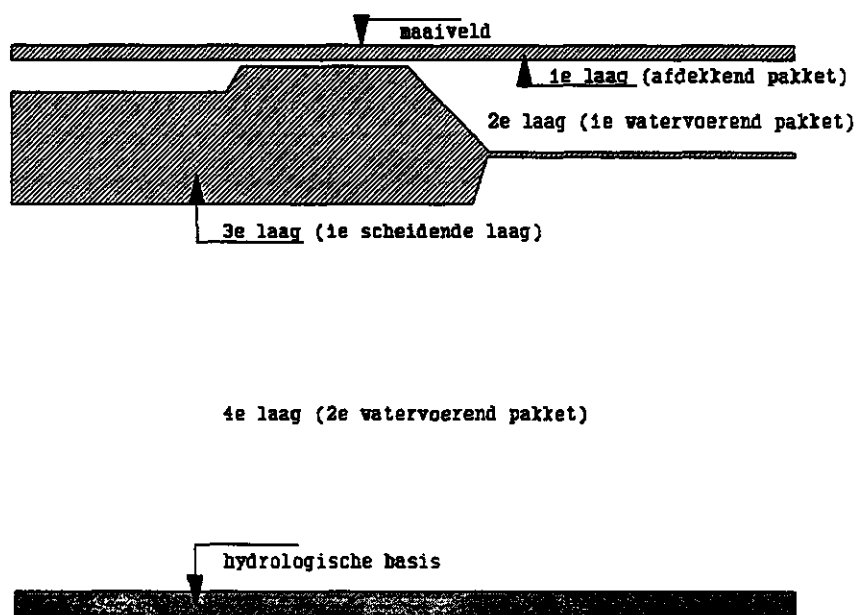


Fig. 1 Geohydrologische schematisatie van de ondergrond

In het volgende zal een beknopte beschrijving van de onderscheiden lagen worden gegeven (Geraedts, 1990).

2.1 1^e laag (afdekkend pakket)

Op grond van het voorkomen van weerstandbiedende keileem of beekleem op geringe diepte, vaak op minder dan 2,5 m, is de 1^e laag als een slechtdoorlatende laag beschouwd. Afhankelijk van de locatie bestaat deze laag uit zeeklei, veen, potklei, dekzand en de reeds genoemde keileem en beekleem.

Voor het gehele modelgebied is een uniforme laagdikte van 3,5 m aangehouden. De relatie grondwater-/oppervlaktewater is in de 1^e laag gemodelleerd via ondermeer drainageweerstand en ontwateringsniveaus. Tussen aangrenzende polygonen vindt in deze laag geen laterale stroming plaats, er treedt alleen in verticale richting interactie op met de 2^e laag (1^e watervoerend pakket). De intensiteit hiervan wordt mede bepaald door de verticale weerstand van de 1^e laag.

Uit een gegevensbestand van 22 000 boringen van de Rijks Geologische Dienst is op grond van de bodemopbouw, en een relatie tussen textuur en doorlatendheid de verticale weerstand bepaald. De verkregen waarde heeft betrekking op de gehele laagdikte bij de SIMGRO-berekeningen.

Daar de weerstandbiedende lagen zich veelal in het onderste deel van het afdekkend pakket bevinden en dit pakket bovendien veelal gedeeltelijk is verzadigd, zijn de verticale weerstanden met een factor twee vermenigvuldigd. Bij de berekeningen met SIMGRO wordt evenredig met de mate waarin het afdekkend pakket is verzadigd, een deel van de verticale weerstand beschouwd.

Bij STRELIN worden niet de verticale weerstand bij de berekeningen gebruikt, maar de verzadigde laagdikte, de verticale en tevens de horizontale doorlatendheid. Bij STRELIN is de verzadigde laagdikte variabel; gegevens hierover worden verkregen uit de SIMGRO-berekeningen. In de slecht doorlatende lagen is de horizontale doorlatendheid gelijk gesteld aan de verticale.

Bij de STRELIN-berekeningen wordt tevens per laag een waarde gevraagd voor de porositeit, deze is voor alle lagen gesteld op 0,30. Olsthoorn (1977) geeft een waarde van ca. 0,38 voor de totale porositeit van de formaties in Nederland, waarbij wordt uitgegaan van een losse stapeling van zand- en grindkorrels. De gebruikte waarde geeft mogelijk een geringe onderschatting van de verblijftijd.

2.2 2^e laag (1^e watervoerend pakket)

De 2^e laag wordt begrensd door het afdekkend pakket en de 3^e laag (1^e scheidende laag). De 1^e scheidende laag is met name effectief in de gebieden waar potklei voorkomt. In deze gebieden kan potklei plaatselijk reiken tot aan het afdekkend pakket. Voor deze situatie is een fictief watervoerend pakket onderscheiden met als laagdikte 1 m.

In de gebieden waar potklei wordt aangetroffen, is de horizontale doorlatendheid (k_h) van het 1^e watervoerend pakket gesteld op 1 m/d, voor het overige deel van het modelgebied is de laagdikte gesteld op 20 m en de horizontale doorlatendheid op 5 m/d. Voor de watervoerende pakketten is voor de verticale doorlatendheid (k_v) de helft genomen van de horizontale doorlatendheid. Deze waarde is afgeleid van De Vries (1974). Hij geeft een verhouding tussen k_h en k_v van 3 : 2 voor pleistocene zanden in het zuidwesten van Nederland, en een verhouding van 2 : 1 voor dekzand.

2.3 3^e laag (1^e scheidende laag)

Met name in de gebieden waar potklei voorkomt, is de 1^e scheidende laag van betekenis. Uit de modellering van SIMGRO is de laagdikte verkregen, de verticale doorlatendheid is gesteld op 0,001 m/d. Voor het overige deel van het modelgebied is op een diepte van 23,5 tot 24,5 m beneden maaiveld een fictieve scheidende laag onderscheiden met een verticale doorlatendheid van 0,04 m/d.

2.4 4^e laag (2^e watervoerend pakket)

Voor het 2^e watervoerend pakket zijn de laagdikte en de horizontale doorlatendheid ontleend aan de SIMGRO-modellering. De dikte varieert globaal van 140 tot 160 m en de horizontale doorlatendheid is gesteld op 35 m/d en de verticale doorlatendheid op grond van het voorgaande op 17,5 m/d.

3 LOCATIE DWARSRAAIEN

Op grond van een hydrologische systeemkartering, isohypsenkaarten en de resultaten van het hydrologisch modelonderzoek heeft de Landinrichtingsdienst voor het onderzoeksgebied vijf representatieve dwarsraaien vastgesteld (fig. 20).

In deze raaien dient in een verticaal vlak met STRELIN de grondwaterstroming te worden berekend voor het verkrijgen van inzicht in de relatie tussen kwel- en wegzijgingsgebieden. Als voorwaarde voor de toepassing van STRELIN moet de grondwaterstroming in de richting loodrecht op het beschouwde vlak gelijk aan nul zijn. De raaien moeten dus samenvallen met de stromingsrichting van het grondwater. In een uitgebreide versie van STRELIN kan convergentie of divergentie in rekening worden gebracht.

Met SIMGRO (versie 1.6-89, waarbij een afbreekcriterium is gebruikt van 0,005) zijn voor een aantal winter- en zomerhalfjaren runs uitgevoerd met als resultaat isohypsenkaarten voor beide watervoerende pakketten (fig. 21 en 22).

In de gebieden waar potklei ontbreekt, vertoont het verloop van de isohypsen van het 1^e en 2^e watervoerend pakket praktisch hetzelfde beeld, zodat de stromingsrichting van het grondwater in deze pakketten identiek is. Bovengenoemde situatie geldt in zijn geheel alleen voor raai 4. Op basis van het verloop van de isohypsen is het definitief verloop van de raai vastgesteld (fig. 20 t/m 22).

De overige raaien liggen geheel of gedeeltelijk in gebieden met potklei. Uit fig. 21 en 22 blijkt dat het verloop van de isohypsen in de potkleigebieden een sterk afwijkend karakter vertoont. Voor raai 2, waar overal potklei wordt aangetroffen, staat de stromingsrichting van het grondwater in het 1^e watervoerend pakket loodrecht op de stromingsrichting in het 2^e watervoerend pakket. Voor deze raai is in eerste instantie uitgegaan van de isohypsenkaart van het 1^e watervoerend pakket.

De overige raaien liggen gedeeltelijk in gebieden met potklei en gedeeltelijk in gebieden waar deze afzettingen ontbreken. Voor het definitief verloop van de raaien is gebruik gemaakt van beide isohypsenkaarten (fig. 20 t/m 22).

4 SELECTIE ZOMER- EN WINTERHALFJAREN

De berekeningen met STRELIN dienen zowel voor een zomer- als winterhalfjaar te worden uitgevoerd, waarbij tevens naar weertype onderscheid is gemaakt in droog, gemiddeld en nat. Met SIMGRO zijn berekeningen uitgevoerd voor de periode 1 januari 1983 tot 15 december 1988. Voor een classificatie naar weertype van de zomer- en winterhalfjaren in deze periode is een reeks zomer- en winterhalfjaren gebruikt waaruit een frequentieverdeling kan worden afgeleid (Buishand en Velds, 1980).

In fig. 2 is voor de winterperiode de cumulatieve frequentie gegeven van de totale neerslag voor het station De Bilt. In fig. 3 is voor hetzelfde station de cumulatieve frequentie van het neerslagoverschot ($N - 0,8E_0$) voor de zomer weergegeven. Voor het vaststellen van de frequentieverdeling is het tijdvak 1911-1975 beschouwd met 65 zomer- en 64 winterhalfjaren (Buishand en Velds, 1980).

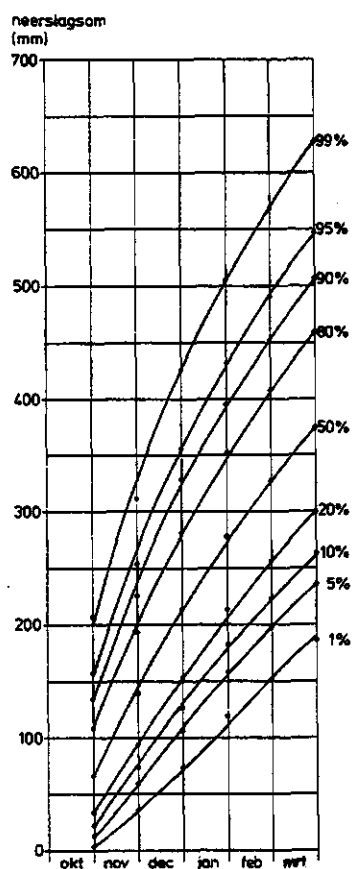


Fig. 2 Lijnen van gelijke cumulatieve frequentie van de totale neerslaghoeveelheid in De Bilt, gerekend vanaf 1 oktober tot 1 april (Buishand en Velds, 1980)

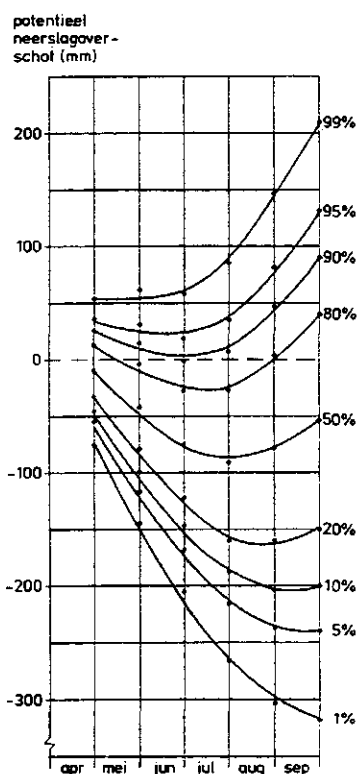


Fig. 3 *Lijnen van gelijke cumulatieve frequentie van het potentiële neerslagoverschot in De Bilt, gerekend vanaf 1 april tot 1 oktober (Buishand en Velds, 1980)*

In tabel 1 zijn voor de winters in de onderzoeksperiode de neerslag van het station De Bilt vermeld en de hiervoor afgeleide onderschrijdingskansen uit fig. 2.

Tabel 1 *Neerslag en onderschrijdingskansen (winterhalfjaar)*

Winterperiode	Neerslag (mm)	Onderschrijdingskansen (%)
1983-1984	502	90
1984-1985	295	20
1985-1986	405	50
1986-1987	512	90
1987-1988	629	99

In tabel 2 zijn voor de zomerhalfjaren het potentiële neerslagoverschot voor De Bilt en de hiervoor afgeleide onderschrijdingskansen uit fig. 3 weergegeven.

**Tabel 2 Neerslagoverschot en onderschrijdingskans
(zomerhalfjaar)**

Zomerperiode	Neerslagoverschot (mm)	Onderschrijdingskans (%)
1983	-9	70
1984	-9	70
1985	5	70
1986	-154	20
1987	134	95
1988	-46	50

De classificatie voor het station De Bilt in de tabellen 1 en 2 is gebruikt voor het onderzoeksgebied Roden-Norg. Dit heeft geleid tot de volgende indeling naar weertype in tabel 3; in deze tabel is tevens voor het zomer- en winterhalfjaar respectievelijk het neerslagoverschot en de neerslag voor het station Eelde weer-gegeven.

Tabel 3 Neerslagoverschot en neerslag in zomer- en winterhalfjaren naar weertype voor station Eelde

Periode	Weertype	Neerslagoverschot (mm)	Neerslag (mm)
1 okt. '84-1 apr. '85	droge winter	276,2	345,8
1 apr. '85-1 okt. '85	-	43,4	449,7
1 okt. '85-1 apr. '86	gemiddelde winter	294,0	362,8
1 apr. '86-1 okt. '86	droge zomer	-94,9	334,7
1 okt. '86-1 apr. '87	natte winter	382,6	458,6
1 apr. '87-1 okt. '87	natte zomer	37,3	434,9
1 okt. '87-1 apr. '88	-	446,2	532,5
1 apr. '88-1 okt. '88	gemiddelde zomer	10,9	420,5

Voor de zes aangegeven situaties in tabel 3 zijn de rekenresultaten van SIMGRO gebruikt voor de berekeningen met STRELIN.

Uit een nadere analyse van de neerslagverdeling voor de neerslagstations Roden en Veenhuizen blijkt dat in het onderzoeksgebied het neerslagoverschot ca. 140 mm hoger is dan in De Bilt.

5 KOPPELING SIMGRO-STRELIN

De benodigde gegevens voor de berekening van de grondwaterstroming in een verticaal vlak met STRELIN kunnen worden onderverdeeld in:

- gegevens over de geometrie van de doorsnede, de horizontale en de verticale doorlatendheid en de porositeit;
- randvoorwaarden voor alle compartimenten aan de rand van de profieldoorsnede, deze betreffen een potentiaal of een flux;
- een datablok met convergentie- of divergentiefactoren indien de stroombanen in een horizontaal vlak ter plaatse van de doorsnede convergentie of divergentie vertonen.

De twee eerste categoriën van gegevens kunnen worden verkregen uit de modellering en de rekenresultaten van SIMGRO. De mate van convergentie of divergentie kan worden ontleend aan het verloop van de isohypsen die worden verkregen als output van de SIMGRO-berekeningen.

De modelcode van SIMGRO voor Roden-Norg is aangepast, zodat de kwel/wegzijgingsflux tussen 1^e en 2^e laag wordt weggeschreven. Voor de beschouwde zomer- en winterhalfjaren zijn de gemiddelde fluxen per knooppunt berekend. Deze resultaten worden in een bestand opgeslagen. Het programma PLOTSEC is ontwikkeld om voor een raai, aangegeven door twee of drie knooppunten, de gegevens en resultaten van SIMGRO te kunnen weergeven.

Als voorbeeld van de koppeling van de relevante data en resultaten tussen SIMGRO en STRELIN is in fig. 23 raai 3 weergegeven. Het verloop van deze raai wordt bepaald door de knooppunten 1349, 1818 en 2224. De nabij de raai gelegen knooppunten worden hierop geprojecteerd. Bij elke projectie behoort een lijnstuk, waarvan de lengte afhankelijk is van de mate waarin de polygoon van het knooppunt door de raai wordt aangesneden. Voor de modellering van STRELIN is de lengte van de lijnstukken naar beneden afgerond op een veelvoud van 25 m. Hierdoor kunnen de knooppunten worden weergegeven door een aantal compartimenten met een breedte van 50 en/of 25 m.

Voor de laagdikte van de compartimenten wordt in eerste instantie tot de onderkant van de 3^e laag (1^e scheidende laag) 0,5 m aangehouden en voor de 4^e laag (2^e watervoerend pakket) 5 m. Op basis van deze eerste laagindeling heeft, om de rekentijd te beperken, een herindeling plaatsgevonden, waarbij het afdekkend pakket wordt geschematiseerd tot lagen van 0,5 m, het 1^e watervoerend pakket en de 1^e scheidende laag tot lagen van 0,5 à 3 m en het 2^e watervoerend pakket tot lagen van 0,5 tot 10 m.

Voor de compartimenten van de doorsnede worden de hydrologische parameters door een symbool aangegeven. In fig. 24 is een gedeelte van de doorsnede van raai 3 tussen knooppunt 1818 en 2224 weergegeven voor de droge winter 1984/1985. De bovenkant van de doorsnede komt overeen met het grondwatervlak. Aangezien de

grondwaterstand in het afdekkend pakket voor de zes doorgerekende situaties kan variëren is in samenhang hiermee de schematisatie voor STRELIN aangepast, omdat de bovenrand gelijk is genomen aan het grondwatervlak.

Bij potklei is veelal een aanpassing van de schematisatie nodig, omdat de compartimenten van het relatief dunne 1^e watervoerende pakket hier niet altijd op elkaar aansluiten (fig. 4a en 4b).

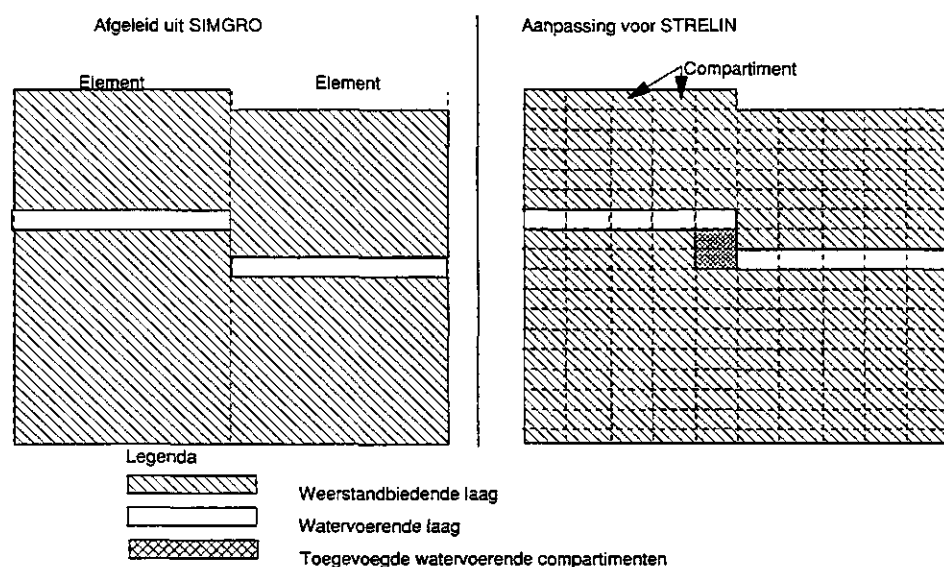


Fig. 4a Schematisatie van dunne watervoerende pakketten

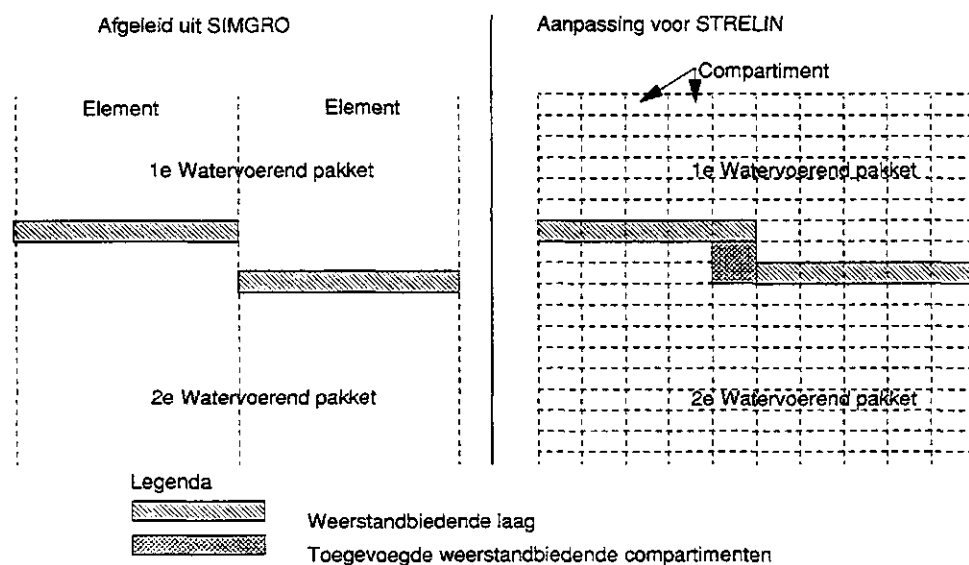


Fig. 4b Schematisatie van dunne weerstandbiedende lagen

5.1 Randfluxen STRELIN

Uit het gegevensbestand van de kwel-/wegzijgingsfluxen tussen de 1^e en 2^e laag, berekend met de aangepaste modelcode van SIMGRO, worden met PLOTSEC fluxen toegekend aan de compartimenten van de bovenrand van de doorsnede. Voor de compartimenten binnen een element van SIMGRO worden gelijke fluxen toegekend. Voor de compartimenten van de zijranden berekent PLOTSEC fluxen op grond van kD -waarden en stijghoogtegradiënten. Hiervoor wordt aan beide uiteinden van de doorsnede voor twee elementen de kD -waarde en de stijghoogte voor een datum genomen. Uit de gradiënt en de kD -waarde is per watervoerend pakket de in- c.q. uitstroming te berekenen. Afhankelijk van de dikte is aan elk compartiment een flux toegekend. De flux voor de compartimenten aan de onderkant van de dwarsdoorsnede is op nul gesteld.

Indien de stroomrichting van het grondwater in beide watervoerende pakketten bij benadering gelijk is aan het verloop van de dwarsdoorsnede, wordt een controle voor de waterbalans uitgevoerd. Een eventueel gering verschil wordt proportioneel verdisconteerd in de verkregen fluxen. Bovengenoemde situatie doet zich alleen voor bij raai 1, bij de overige raaien is sprake van convergentie of divergentie of de stroomrichting in beide watervoerende pakketten is sterk afwijkend. Voor deze raaien zijn de met PLOTSEC verkregen waarden aangepast alvorens een controle voor de waterbalans is uitgevoerd. In het volgende zullen de fluxen en eventueel benodigde aanpassingen hiervan voor de raaien afzonderlijk worden toegelicht.

5.1.1 Raai 1

In fig. 5 is raai 1 geschematiseerd weergegeven; in het zuidelijk deel komt potklei voor.

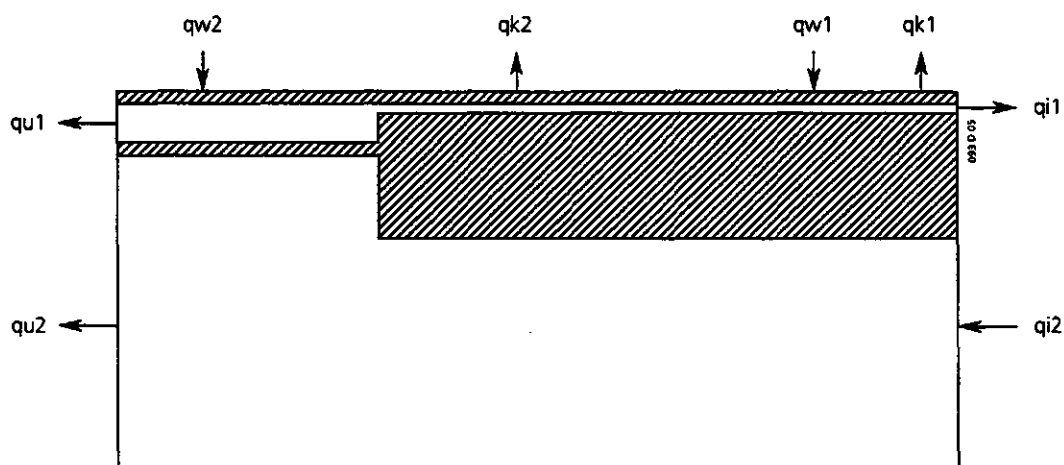


Fig. 5 Schema raai 1

Aan de bovenzijde van de dwarsdoorsnede zijn vier stroken onderscheiden met afwisselend kwel en wegzijging. Voor de zijranden is de in- en uitstroming opgedeeld voor het 1^e en 2^e watervoerend pakket. In tabel 4 zijn voor de beschouwde zomer- en winterhalfjaren de relevante termen weergegeven. In tabel 5 zijn de termen van de bovenrand op grond van de strookbreedte omgerekend naar mm/d. Afwijkingen tussen aanvoer en afvoer in tabel 4 zijn een gevolg van afrondingen, dit geldt eveneens voor tabellen 6, 8, 10 en 12. In tabel 5, 7, 9, 11 en 13 staat L1, L2 enz. voor de breedte van de strook en geeft q_w en q_k de gemiddelde waarde in mm/d voor respectievelijk wegzijging of kwel voor de strook. De som van alle stroken is gelijk aan de lengte van de raai. Voor de locatie van fluxen in tabel 4 t/m 13 wordt verwezen naar de figuren 5, 6, 10, 12 en 14.

Tabel 4 Aanvoertermen (instroming (q_i) en wegzijging (q_w)) en afvoertermen (uitstroming (q_u) en kwel (q_k)) in m^2/d voor raai 1

Periode		q_{i2}	q_{w2}	q_{w1}	Aan- voer	q_{i1}	q_{u1}	q_{u2}	q_{k2}	q_{k1}	Af- voer
1-10-84	1-4-85	1,6095	0,3520	0,0563	2,0178	0,0018	0,0169	1,6948	0,2823	0,0220	2,0178
1-10-85	1-4-86	1,7144	0,4210	0,0563	2,1917	0,0018	0,0281	1,9259	0,2138	0,0220	2,1916
1-4-86	1-10-86	0,2261	1,1733	0,0353	1,4347	0,0010	0,0267	1,3867	0,0033	0,0170	1,4347
1-10-86	1-4-87	0,4206	0,6930	0,0563	1,1699	0,0018	0,0183	1,0785	0,0533	0,0180	1,1699
1-4-87	1-10-87	1,0877	0,8045	0,0458	1,9380	0,0017	0,0324	1,8489	0,0350	0,0200	1,9380
1-4-88	1-10-88	1,3043	1,1838	0,0380	2,5261	0,0018	0,0366	2,4652	0,0065	0,0160	2,5261

Tabel 5 Kwel (q_k) /wegzijging (q_w) in mm/d met breedte (L) van bijbehorende strook in m

Periode		L_1 (m)	q_{w2} (mm/d)	L_2 (m)	q_{k2} (mm/d)	L_3 (m)	q_{w1} (mm/d)	L_4 (m)	q_{k1} (mm/d)
1-10-84	1-4-85	500	0,70	2900	0,10	675	0,08	450	0,05
1-10-85	1-4-86	900	0,47	2500	0,09	675	0,08	450	0,05
1-4-86	1-10-86	2525	0,46	1050	0,03	500	0,07	450	0,04
1-10-86	1-4-87	900	0,77	2500	0,02	675	0,08	450	0,04
1-4-87	1-10-87	900	0,89	2675	0,01	500	0,09	450	0,04
1-4-88	1-10-88	2325	0,51	1250	0,01	500	0,08	450	0,04

5.1.2 Raai 2

Raai 2 ligt in een gebied waar in de ondergrond overal potklei voorkomt (fig. 20). Uit fig. 20, 21 en 22 blijkt dat de stroomrichting in het 1^e watervoerend pakket is gericht naar de hoofdwaterlopen en praktisch loodrecht staat op de stroomrichting in het 2^e watervoerende pakket. Uit fig. 6, tabel 6 en 7 blijkt dat voor een groot gedeelte van de raai wegzijging optreedt naar het 2^e watervoerend pakket en dat slechts een relatief klein deel van het neerslagoverschot via de ondergrond wordt afgevoerd.

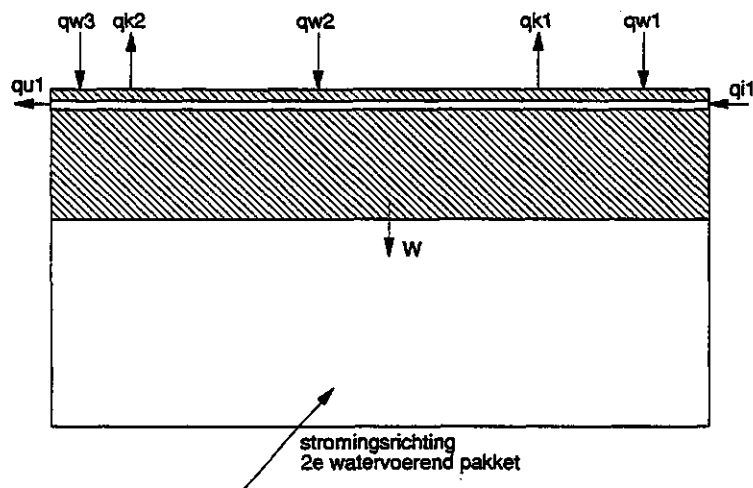


Fig. 6 Schema raai 2

De horizontale stroming in het 1^e watervoerend pakket is met uitzondering van de naaste omgeving van de hoofdwatervlooi te verwaarlozen. Als onderbouwing hiervoor is uitgegaan van de volgende vergelijking van de grondwaterstroming in het 1^e watervoerend pakket:

$$\frac{d^2 h}{dx^2} k_1 D_1 - v_{zo} + \frac{\Delta h}{c} = 0$$

waarin: dh/dx = gradiënt stijghoogte 1^e watervoerend pakket
 $k_1 D_1$ = kD-waarde 1^e watervoerend pakket (m²/d)
 v_{zo} = wegzijging (negatief), kwel (m/d)
 Δh = verschil tussen stijghoogte 2^e en 1^e watervoerend pakket (m)
 c = c-waarde 1^e scheidende laag (d)

Voor het gebied met wegzijging en een verwaarloosbare stroming door het 1^e watervoerend pakket geldt:

$$\frac{d^2 h}{dx^2} k_1 D_1 = 0$$

Dit leidt tot:

$$v_{zo} = \frac{\Delta h}{c}$$

Ter onderbouwing van het voorgaande is dit voor een deel van raai 2 (fig. 25) nader uitgewerkt. Voor dagnummer 91 in 1985 is voor element 979 de stijghoogte in het 1^e watervoerend pakket 6,86 m en 4,24 m voor element 971. Beide elementen hebben

een afstand van 771 m. De kD-waarde voor het 1^e watervoerend pakket bedraagt 1 m²/d. De gradiënt in de omgeving van element 979 is 0,0022 (tussen element 979 en 977, afstand 171 m is het drukverschil 0,38 m), de gradiënt in de omgeving van element 971 is 0,0047 (tussen element 972 en 971, afstand 120 m is drukverschil 0,56 m).

De verandering in de gradiënt tussen element 979 en 971 is 0,0000032. Deze waarde geeft een benadering van de tweede afgeleide (d^2h/dx^2) en tevens van de verandering van de flux door het 1^e watervoerend pakket in m²/d. De gemiddelde flux tussen het 1^e en het 2^e watervoerend pakket voor de tussenliggende elementen is 0,000123 m/d. Dit voorbeeld toont aan dat de stroming door het 1^e watervoerend pakket praktisch verwaarloosbaar is in vergelijking met de wegzijging naar het 2^e watervoerend pakket.

Tabel 6 Aanvoertermen (instroming (q_i) en wegzijging (q_w)) en afvoertermen (uitstroming (q_u) en kwel (q_k)) in m²/d voor raai 2 voor 1^e watervoerend pakket

Periode		q_{i1}	q_{w1}	q_{w2}	q_{w3}	Aan- voer	q_{u1}	q_{k1}	q_{k2}	W	Af- voer
1-10-84	1-4-85	0,0010	0,1320	0,3560	0,0393	0,5283	0,0053	0,0450	0,0200	0,4580	0,5283
1-10-85	1-4-86	0,0013	0,1335	0,3673	0,0393	0,5414	0,0052	0,0450	0,0220	0,4692	0,5414
1-4-86	1-10-86	0,0003	0,1193	0,3405	0,0360	0,4961	0,0047	0,0475	0,0160	0,4279	0,4961
1-10-86	1-4-87	0,0009	0,1380	0,3630	0,0408	0,5427	0,0053	0,0380	0,0180	0,4814	0,5427
1-4-87	1-10-87	0,0009	0,1230	0,3453	0,0375	0,5067	0,0053	0,0475	0,0180	0,4359	0,5067
1-4-88	1-10-88	0,0017	0,1170	0,3428	0,0310	0,4925	0,0053	0,0518	0,0200	0,4154	0,4925

Tabel 7 Kwel(q_k)/wegzijging(q_w) in mm/d met breedte (L) van bijbehorende strook in m

Periode		L_1 (m)	q_{w3} (mm/d)	L_2 (m)	q_{k2} (mm/d)	L_3 (m)	q_{w2} (mm/d)	L_4 (m)	q_{k1} (mm/d)	L_5 (m)	q_{w1} (mm/d)	L (m)	W (mm/d)
1-10-84	1-4-85	375	0,10	200	0,10	1800	0,20	550	0,08	650	0,20	3575	0,13
1-10-85	1-4-86	375	0,10	200	0,11	1800	0,20	550	0,08	650	0,20	3575	0,13
1-4-86	1-10-86	375	0,10	200	0,08	1800	0,19	550	0,09	650	0,18	3575	0,12
1-10-86	1-4-87	375	0,11	200	0,09	1900	0,19	450	0,08	650	0,21	3575	0,13
1-4-87	1-10-87	375	0,10	200	0,09	1900	0,18	450	0,11	650	0,18	3575	0,12
1-4-88	1-10-88	375	0,08	200	0,10	1675	0,20	675	0,08	650	0,18	3575	0,12

Uit tabel 7 volgen waarden voor v_{zo} , de c-waarde is ongeveer 30 000 dagen. Voor Δh worden voor twee stroken waarden berekend van 3,0 en 6,0 m. Deze waarden komen goed overeen met berekende waarden uit PLOTSEC (fig. 25). In tabel 6 zijn alleen de fluxen voor de bovenrand en het 1^e watervoerend pakket weergegeven. Voor 3 compartimenten die betrekking hebben op een relatief hoge maaiveldsligging is de flux aan de bovenrand gehalveerd. Het is aannemelijk dat vanuit deze hoogte het water in alle richtingen (radiaal) afstroomt door het 1^e watervoerend pakket. In afwijking van de overige berekeningen zijn in deze raai voor de zijranden voor het 2^e watervoerend pakket potentialen ingevoerd. Hierbij is uitgegaan van de met PLOTSEC berekende stijghoogten. Over de gehele dikte van het 2^e watervoerend pakket is een verhang aangehouden van enkele centimeters.

5.1.3 Raai 3

In raai 3 zijn een aantal factoren aanwezig die aanpassing vergen voor de berekende fluxen met PLOTSEC. Ten eerste komt in een gedeelte van de raai potklei voor, waardoor de stromingsrichting in het 1^e en 2^e watervoerend pakket sterk afwijkend is. Ten tweede komt in het gedeelte van de raai waar de potklei ontbreekt divergentie voor en ten derde is in de raai op de grens met de potklei de stromingsrichting in de watervoerende pakketten afwijkend van het verloop van de raai (de raai maakt een hoek met de stromingsrichting). Door toe- of afname van de stromingsintensiteit in het 1^e en het 2^e watervoerende pakket als gevolg van wegzijging of kwel treedt divergentie of convergentie op van stroomlijnen (fig. 22 en fig. 7).

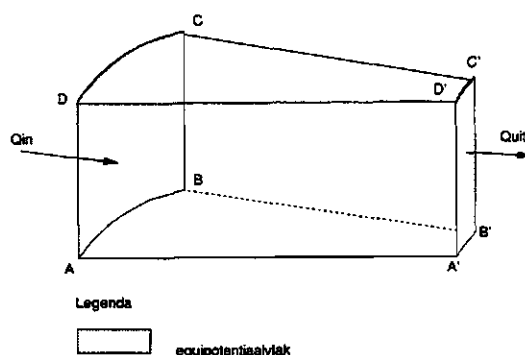


Fig. 7 Voorbeeld van convergerende stroomlijnen

Om de fluxen aan te passen is de raai allereerst opgesplitst in twee gedeelten, afhankelijk van het voorkomen van potklei. Om de divergentie in rekening te brengen is een uitgebreide versie van STRELIN gebruikt. De uitbreiding heeft met name betrekking op het toevoegen van een derde dimensie aan de dwarsdoorsnede. Bij het begin van de raai betreft deze een dikte van 1 m. Uit het verloop van de isohypsen in het 2^e watervoerend pakket (fig. 22) is het verloop van de divergentiefactor voor de raai bepaald (fig. 8).

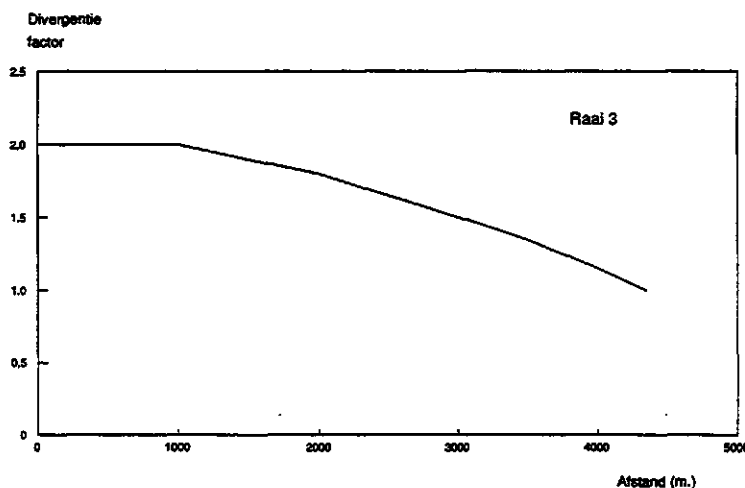


Fig. 8 Divergentiefactoren voor het 1^e watervoerend pakket van raai 3

Voor de bepaling van de flux over de rand BB' op de grens met de potklei zijn aparte berekeningen met PLOTSEC uitgevoerd. Op de grens met de potklei is de divergentiefactor twee; daar worden de fluxen uit PLOTSEC voor de boven- en zijrand met een factor twee vermenigvuldigd. De raai ligt, waar de potklei begint, niet meer loodrecht op de isohypsen. De gradiënt in de stijghoogte van de beide watervoerende pakketten op de grens met de potklei (loodrecht op de isohypsen) is ongeveer 14% hoger dan in de richting van de raai. De flux op de zijrand ter plaatse is derhalve nog extra vergroot met 14%. Vervolgens is een controle uitgevoerd voor de waterbalans. Voor een aansluiting met het resterende deel van de raai ter plaatse van de potklei wordt verwezen naar fig. 9.

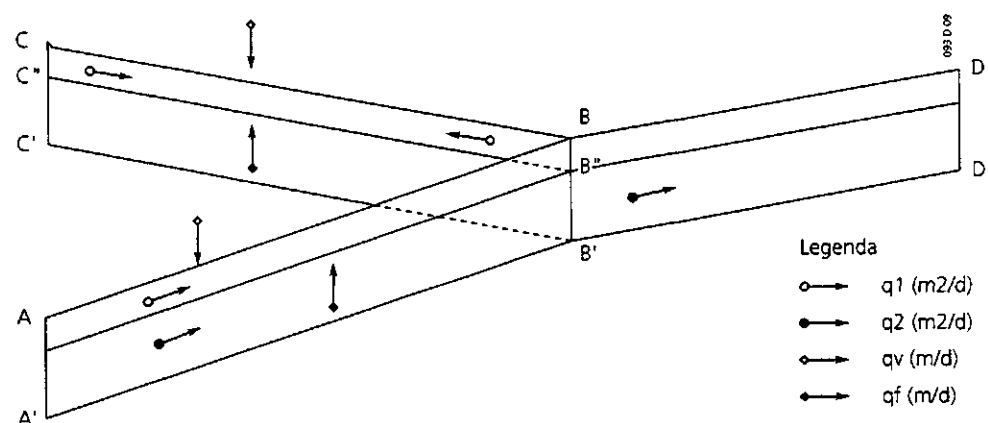


Fig. 9 Schematisering van de stroming in raai 3

Over de dwarsdoorsnede AB is de stromingsrichting in het 1^e en 2^e watervoerende pakket gelijk gericht. Bij B begint de potklei. De stroming van het water in het 2^e watervoerende pakket is in de richting van het traject BD, in tegenstelling tot de stromingsrichting in het 1^e watervoerend pakket, die plaats vindt in de richting BC. Met STRELIN is de dwarsdoorsnede ABC doorgerekend, waarbij met een fictieve flux over de rand CC' is gerekend.

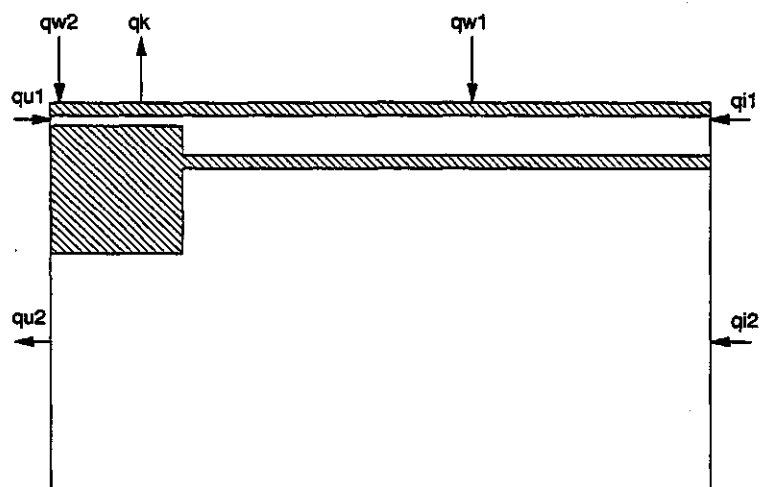


Fig. 10 Schema raai 3

Voor de twee onderdelen van de dwarsdoorsnede ABC kunnen de volgende waterbalansen worden opgesteld:

Voor traject AB:

$$q_1(A) + q_2(A) + q_f(AB) = q_1(B) + q_2(B)$$

Voor traject BC:

$$q_1(B) + q_1(C) + q_v(B''C'') = q_f(BC)$$

Uit bovengenoemde waterbalansen kan de volgende betrekking worden verkregen voor het traject ABC.

$$q_2(C)^* = q_2(B) - q_v(B''C'')$$

De term $q_2(C)^*$ heeft betrekking op de afstroming in de doorsnede BD. Resumerend zijn de fluxen als volgt bepaald:

- voor de bovenrand uit PLOTSEC waarbij rekening is gehouden met de divergentiefactor;
- voor de zijrand- zuidoostelijk gelegen- direct uit PLOTSEC.

De flux in het 1^e watervoerend pakket ter plaatse van de potklei uit PLOTSEC is vermenigvuldigd met de divergentiefactor twee. De flux voor het 2^e watervoerend pakket $q_2(C)^*$ is uit de waterbalans verkregen. In figuur 10 en tabel 8 zijn de fluxen in m³/d weergegeven. In tabel 9 zijn de fluxen omgerekend naar mm/d, waarbij rekening is gehouden met de strookbreedte en de divergentiefactor.

Tabel 8 Aanvoertermen (instroming (q_i) en wegzijging (q_w) en afvoertermen (uitstroming (q_u) en kwel (q_k)) in m^3/d voor raai 3

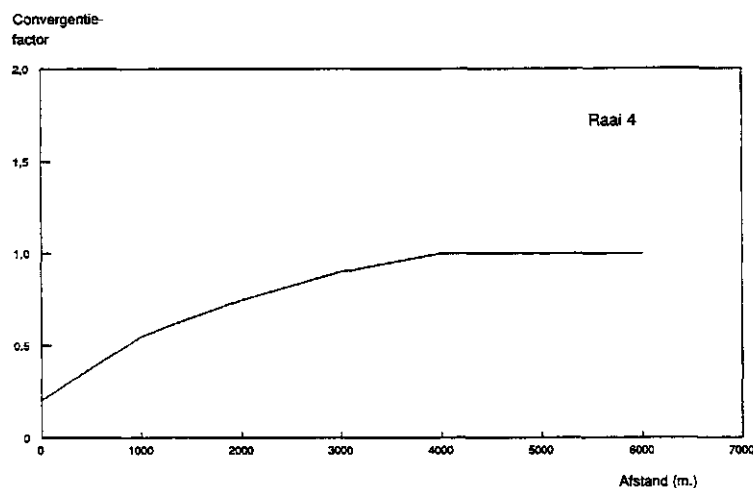
Periode		q_{i1}	q_{i2}	q_{u1}	q_{w2}	q_{w1}	Aan- voer	q_{u2}	q_k	Af- voer
1-10-84	1-4-85	0,0667	4,1211	0,0751	0,0370	6,1855	10,4854	7,8680	2,6175	10,4855
1-10-85	1-4-86	0,0704	4,3439	0,0751	0,0290	7,7174	12,2358	8,8583	3,3775	12,2358
1-4-86	1-10-86	0,0633	4,0100	0,0431	0,0250	4,8875	9,0289	8,0027	1,0260	9,0287
1-10-86	1-4-87	0,0667	4,2325	0,0376	0,0350	8,0579	12,4297	9,2947	3,1350	12,4297
1-4-87	1-10-87	0,0685	4,1211	0,0491	0,0420	5,2095	9,4902	8,2403	1,2500	9,4903
1-4-88	1-10-88	0,0758	4,5667	0,0751	0,0130	6,2825	11,0130	8,7005	2,3125	11,0130

**Tabel 9 Kwel(q_k)/wegzijging(q_w) in mm/d met breedte (L) van
bijbehorende strook in m**

Periode		L_1 (m)	q_{w2} (mm/d)	L_2 (m)	q_k (mm/d)	L_3 (m)	q_{w1} (mm/d)
1-10-84	1-4-85	100	0,19	1375	0,95	4125	0,92
1-10-85	1-4-86	100	0,15	1375	1,23	4125	1,17
1-4-86	1-10-86	350	0,04	1550	0,33	3700	0,84
1-10-86	1-4-87	100	0,18	1375	1,14	4125	1,22
1-4-87	1-10-87	350	0,06	1125	0,56	4125	0,79
1-4-88	1-10-88	100	0,07	1375	0,84	4125	0,96

5.1.4 Raai 4

In raai 4 komt geen potklei voor. Uit fig. 22 blijkt dat er convergentie van de stroombanen optreedt. De convergentiefactor is weergegeven in fig. 11. Met deze factor zijn de fluxen uit PLOTSEC vermenigvuldigd om de randfluxen voor STRELIN te verkrijgen.



**Fig. 11 Convergentiefactoren voor het 1^e en het 2^e water-
voerend pakket van raai 4**

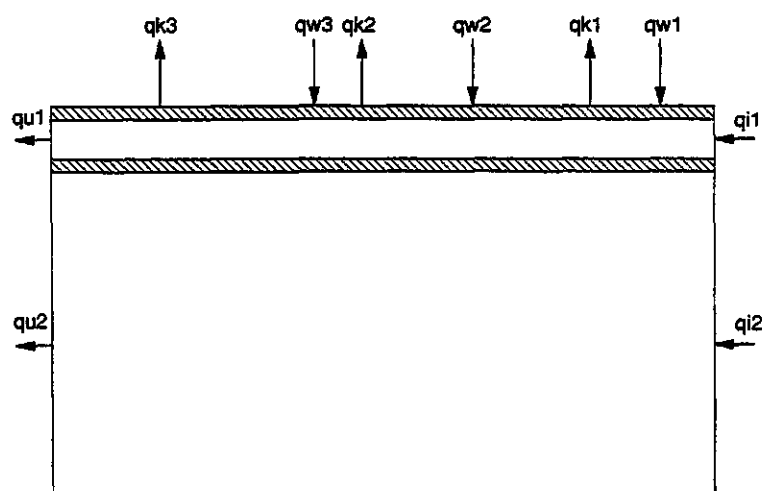


Fig. 12 Schema raai 4

Uit fig. 12 volgt dat in het hogere deel van de dwarsdoorsnede overwegend wegzijging voorkomt met in de omgeving van de waterlopen kleine stroken met geringe kwel. In het lage deel komt een relatief hoge kwel voor. In tabel 10 zijn de randfluxen van STRELIN aangegeven en in tabel 11 zijn deze in samenhang met de strookbreedte en convergentiefactor omgerekend naar mm/d.

Tabel 10 Aanvoertermen (instroming (q_i) en wegzijging (q_w)) en afvoertermen (uitstroming (q_u) en kwel (q_k)) in m^3/d voor raai 4

Periode		q_{i1}	q_{i2}	q_{w1}	q_{w2}	q_{w3}	Aanvoer
1-10-84	1-4-85	0,0432	2,5581	0,9460	1,7900	0,3890	5,7263
1-10-85	1-4-86	0,0432	2,5581	0,9298	2,0738	0,4896	6,0945
1-4-86	1-10-86	0,0414	2,4468	0,4690	0,8585	0,1524	3,9681
1-10-86	1-4-87	0,0360	2,2244	1,2860	2,4203	0,6255	6,5922
1-4-87	1-10-87	0,0378	2,3356	0,3805	0,8080	0,1678	3,7297
1-4-88	1-10-88	0,0378	2,2244	0,5018	1,0310	0,1118	3,9068

Periode		q_{u1}	q_{u2}	q_{k1}	q_{k2}	q_{k3}	Afvoer
1-10-84	1-4-85	0,0216	0,9509	0,0430	0,1210	4,5898	5,7263
1-10-85	1-4-86	0,0182	0,8381	0,2508	0,1144	4,8729	6,0944
1-4-86	1-10-86	0,0184	0,9509	0,0533	0,0330	2,9126	3,9682
1-10-86	1-4-87	0,0258	1,1933	0,123	0,0767	5,1735	6,5923
1-4-87	1-10-87	0,0132	0,6460	0,1153	0,0557	2,8996	3,7298
1-4-88	1-10-88	0,0138	0,6526	0,3230	0,1540	2,7635	3,9069

Tabel 11 $K_{wel}(q_k)/w_{egzijging}(q_w)$ in mm/d met breedte (L) van bijbehorende strook in m

Periode		L_1 (m)	q_{k3} (mm/d)	L_2 (m)	q_{w3} (mm/d)	L_3 (m)	q_{k2} (mm/d)	L_4 (m)	q_{w2} (mm/d)	L_5 (m)	q_{k1} (mm/d)	L_6 (m)	q_{w1} mm/d
1-10-84	1-4-85	2050	4,33	625	0,78	275	0,55	1650	1,08	375	0,11	875	1,08
1-10-85	1-4-86	2050	4,57	625	0,98	275	0,52	1650	1,26	375	0,67	875	1,06
1-4-86	1-10-86	2050	3,01	625	0,30	275	0,15	1650	0,52	375	0,14	875	0,54
1-10-86	1-4-87	2050	3,91	625	1,11	275	0,31	1650	1,47	375	0,33	875	1,47
1-4-87	1-10-87	2050	3,47	625	0,36	275	0,27	1650	0,49	375	0,31	875	0,43
1-4-88	1-10-88	2050	4,37	625	0,26	275	0,80	1650	0,62	375	0,86	875	0,57

5.1.5 Raai 5

Raai 5 is qua uitwerking enigszins vergelijkbaar met raai 3. In eerste instantie is de raai, afhankelijk van het voorkomen van potklei, opgesplitst in twee gedeelten. Waar de potklei ontbreekt komt convergentie voor; de convergentiefactor is weergegeven in fig. 13.

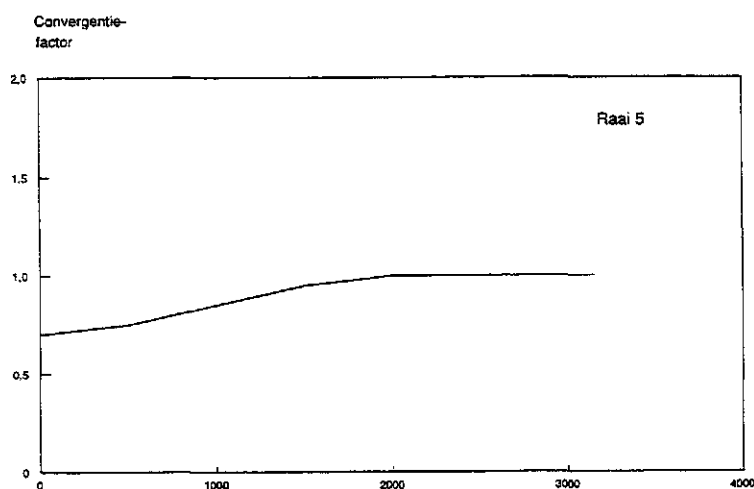


Fig. 13 Convergentiefactoren voor het 1^e en het 2^e watervoerend pakket van raai 5

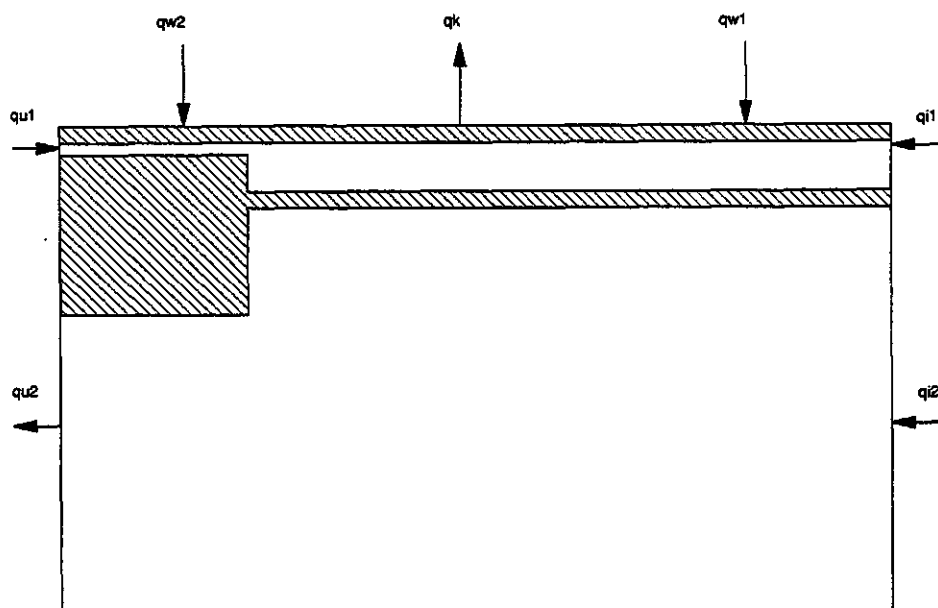


Fig. 14 Schema raai 5

De stromingsrichting in het 2^e watervoerend pakket op de grens van de potklei komt weliswaar niet overeen met de richting van de dwarsdoorsnede, maar de benodigde aanpassing hiervoor is te verwaarlozen. In fig.14 is het gebruikte schema voor raai 5 weergegeven en in tabel 12 en 13 zijn de fluxen voor STRELIN en een omrekening naar mm/d opgenomen.

Tabel 12 Aanvoertermen (instroming (q_i) en wegzijging (q_w)) en afvoertermen (uitstroming (q_u) en kwel (q_k)) in m³/d voor raai 5

Periode		q_{i1}	q_{i2}	q_{u1}	q_{w2}	q_{w1}	Aanvoer	q_{u2}	q_k	Afvoer
1-10-84	1-4-85	0,0855	5,0295	0,0013	0,3878	1,6000	7,1041	1,7787	5,3253	7,1040
1-10-85	1-4-86	0,0910	5,2390	0,0014	0,4289	1,8592	7,6195	1,9871	5,6324	7,6195
1-4-86	1-10-86	0,0855	4,9247	0,0011	0,1668	1,0441	6,2222	1,7793	4,4430	6,2223
1-10-86	1-4-87	0,0965	5,5534	0,0012	0,5116	2,1253	8,2880	3,2473	5,0407	8,2880
1-4-87	1-10-87	0,0819	4,9247	0,0015	0,1764	0,9623	6,1468	1,4172	4,7295	6,1467
1-4-88	1-10-88	0,0910	5,3438	0,0017	0,2167	1,3232	6,9764	1,6310	5,3454	6,9764

Tabel 13 Kwel(q_k)/wegzijging(q_w) in mm/d met breedte (L) van bijbehorende strook in m

Periode		L_1 (m)	q_{w2} (mm/d)	L_2 (m)	q_k (mm/d)	L_3 (m)	q_{w1} (mm/d)
1-10-84	1-4-85	1225	0,48	1400	4,64	1325	1,21
1-10-85	1-4-86	1225	0,53	1400	4,90	1325	1,41
1-4-86	1-10-86	1225	0,23	1400	3,89	1325	0,79
1-10-86	1-4-87	1225	0,63	1400	4,38	1325	1,62
1-4-87	1-10-87	1225	0,24	1400	4,13	1325	0,73
1-4-88	1-10-88	1225	0,28	1400	4,66	1325	1,00

5.2 Randfluxen in relatie tot het weertype voor zomer- en winterhalfjaren

In de tabellen 4 t/m 13 zijn de uit SIMGRO-berekende afgeleide waarden voor STRELIN weergegeven. Aangezien hierbij qua weertype aanmerkelijk verschillende perioden zijn beschouwd, is nagegaan in welke mate de fluxen hiermee samenhangen. Deze zijn hierbij onderverdeeld in randfluxen aan het maaiveld, namelijk kwel en wegzijging, en fluxen die betrekking hebben op de intensiteit van de grondwaterstroming in het 1^e en 2^e watervoerend pakket. In fig. 15 is per raai de gemiddelde kwel en wegzijging weergegeven. Hierbij zijn eventueel meerdere stroken met kwel en/of wegzijging samengevoegd. Vervolgens is naar de lengte van de kwel- c.q. wegzijgingsstroken het gewogen gemiddelde bepaald. In fig. 16 is de in- en uitstroming in de dwarsdoorsnede door het 2^e watervoerend pakket weergegeven.

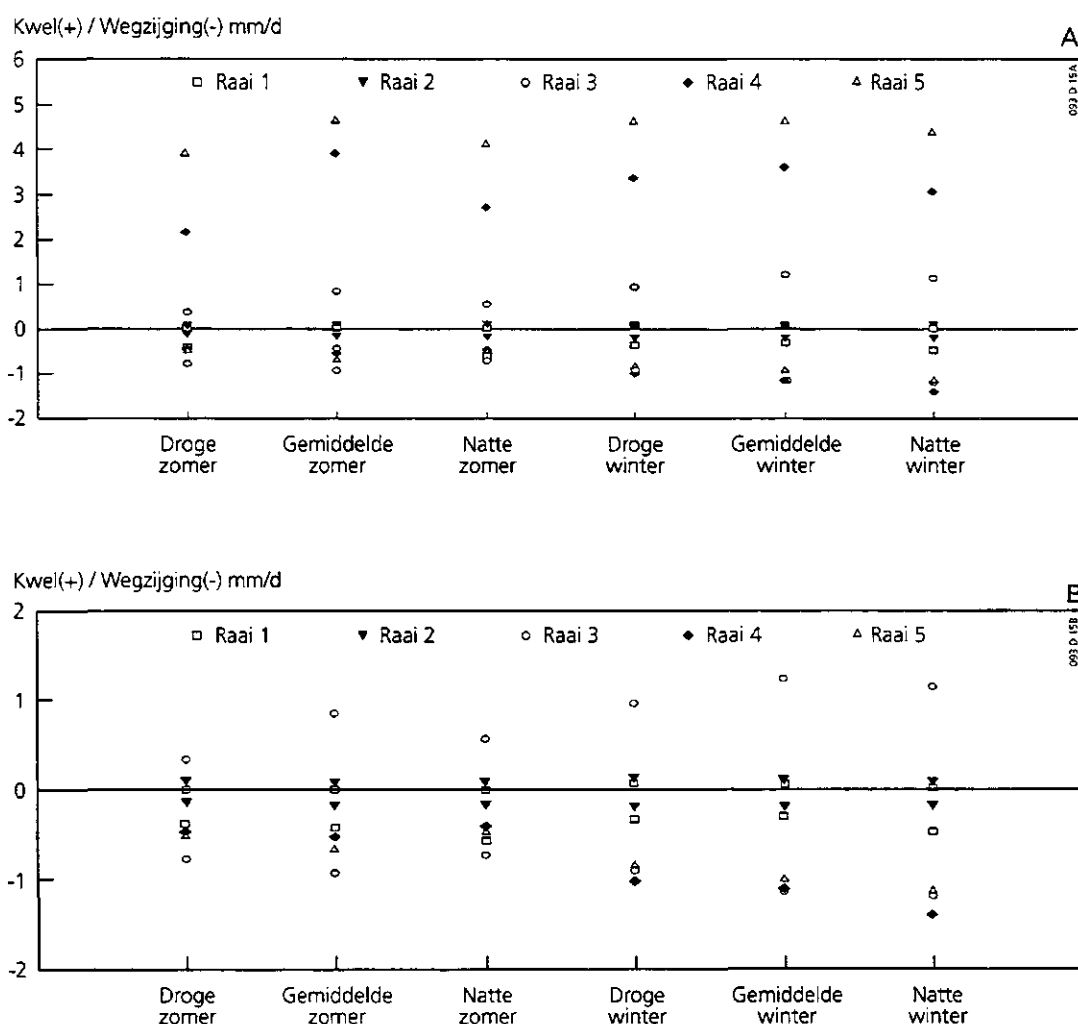


Fig. 15 Kwel en wegzijging

Voor de raaien 1 en 2 waarbij in de ondergrond over het grootste deel of over de gehele lengte potklei voorkomt, wordt verreweg het grootste deel van het neerslagoverschot direct, als gevolg van de afvoerrelatie van de 1^e laag, afgevoerd naar het

oppervlaktewater. Voor deze raaien worden lage waarden gevonden voor de kwel en wegzijging, in tegenstelling tot gebieden waar de potklei grotendeels of geheel ontbreekt (raai 3 t/m 5). De raaien 3 t/m 5 reageren vrijwel identiek. Voor deze raaien liggen de wegzijging en de kwel in de winter op een hoger niveau dan in de zomer, en voor de winterperiode is een duidelijke relatie tussen de grootte van de wegzijging en het weertype. Voor de zomer is dit minder duidelijk, de gemiddelde zomer heeft een grotere wegzijging dan een natte resp. droge zomer. Dit kan worden toegeschreven aan verschillen in meteorologische omstandigheden tussen weerstation De Bilt, gebruikt voor keuze van de weertypen, en het onderzoeksgebied Roden-Norg, maar ook aan verschillen in grootte van het wegzijgingsgebied bij verschillende weertypen.

Opvallend is de hoge kwel voor de gemiddelde zomer. De waarde kan wellicht verklaard worden door de voorafgaande winter '87-'88 die extreem nat is geweest (tabel 1).

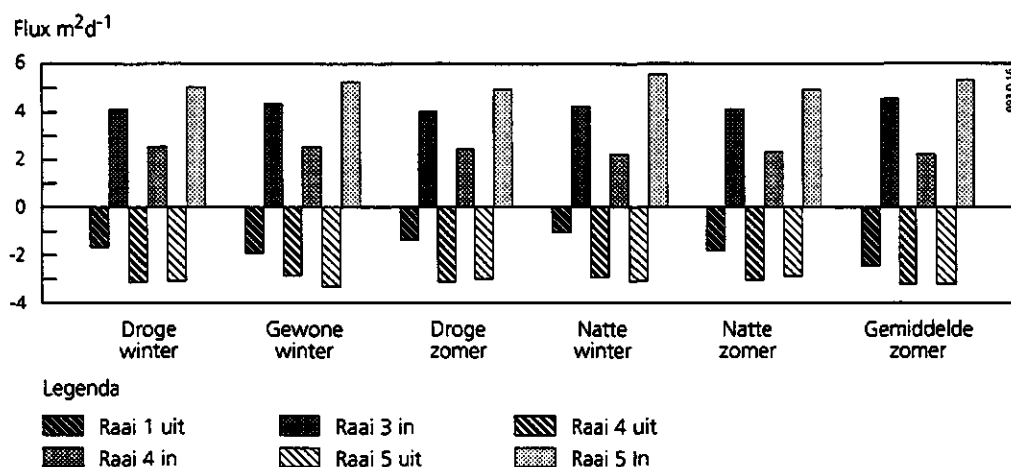


Fig. 16 Fluxen naar en uit het 2^e watervoerend pakket

In figuur 16 is voor raai 3 t/m 5 de instromende en voor raai 1, 4 en 5 de uitstromende flux voor het 2^e watervoerend pakket weergegeven. Voor raai 1 is de inkomende flux en voor raai 3 is de uitgaande flux niet weergegeven, omdat dit fictieve fluxen (stromingsrichting in 1^e watervoerend pakket wijkt af van stromingsrichting in het 2^e watervoerend pakket) betreft; raai 2 ontbreekt omdat voor de berekeningen met STRELIN stijghoogten zijn ingevoerd als randvoorwaarde voor het 2^e watervoerend pakket. Uit figuur 20 blijkt dat de verschillen in de randfluxen voor het 2^e watervoerend pakket gering zijn, dit geldt eveneens voor het 1^e watervoerend pakket (tabel 4, 6, 8, 10, 12). Dit betekent tevens dat de verschillen tussen de hydrologische systemen voornamelijk een gevolg zijn van verschillen in meteorologische omstandigheden tussen de zes tijdvakken. In verband met de kleine fluxen naar en uit het 1^e watervoerend pakket zijn deze niet in een figuur weergegeven.

6 BEREKENINGEN MET STRELIN

In de fig. 26 t/m 55 zijn de berekende stroomlijnen en equipotentiaallijnen weergegeven. Tussen twee opeenvolgende stroomlijnen en equipotentiaallijnen stroomt eenzelfde flux c.q. is een gelijk potentiaalverschil aanwezig. In deze figuren is vervolgens een indeling gemaakt in hydrologische systemen.

Onder een hydrologisch systeem of meer specifiek een grondwatersysteem wordt in dit verband verstaan een driedimensionaal, dynamisch samenhangend stromingslichaam van grondwater dat zich in tijd en ruimte kan wijzigen onder invloed van veranderingen in patroon en grootte van in- en uitvoer en van veranderingen in de doorlatendheid van het doorstroomde medium (Engelen 1989). De wegzijging- en kwelgebieden van een natuurlijk systeem zijn door stroomlijnen verbonden. De beschouwde figuren geven aldus een doorsnede door meer hydrologische systemen.

De verbreiding van deze systemen is niet statisch maar afhankelijk van het weertype per zomer- of winterhalfjaar. In fig. 56 t/m 60 is de fluctuatie van de begrenzing van de systemen weergegeven. Door deze fluctuatie in de systemen ontstaat er op de grens tussen de hydrologische systemen een smalle zone waarin de waterdeeltjes van systeem kunnen wisselen afhankelijk van de klimatologische omstandigheden.

Naast de tracerings van stroombanen en de daaruit af te leiden hydrologische systemen, is de verblijftijd van de waterdeeltjes binnen de onderscheiden systemen van belang in verband met de kwaliteit van het kwelwater. Voor het bepalen van de verblijftijd speelt de effectieve snelheid (v_e) van het waterdeeltje een rol.

$$v_e = \frac{k * \frac{dh}{dx}}{\Theta}$$

In deze formule is het watergehalte (Θ) gelijk te stellen aan de porositeit. De verblijftijd wordt vervolgens bepaald door de afgelegde weg en de effectieve snelheid. STRELIN heeft de mogelijkheid om op de modelrand een aantal waterdeeltjes te definiëren en vervolgens deze deeltjes te volgen in de tijd. Hierdoor is het mogelijk om de ouderdom van het kwelwater in te schatten voor zover het water binnen de modeldoorsnede is geïnfiltreerd.

In raai 1 komen twee kwelstroken voor met een geringe kwel. De kwelstrook op de rand van de potklei wordt gevoed door water dat van buiten de beschouwde raai onder de potklei wordt aangevoerd. De ouderdom van dit water is zeer hoog ($>>300$ jaar). De tweede kwelstrook wordt gevoed door een wegzijgingsgebied binnen de raai. In raai 2 komen eveneens twee kwelstroken voor. Door de geringe stromingsintensiteiten kunnen de verblijftijden aanzienlijk oplopen; voor een gemiddelde zomer varieert de verblijftijd van 0 tot 200 jaar.

In fig. 17 t/m 19 is voor raai 3 t/m 5 de gemiddelde ouderdom over de belangrijkste

kwelstrook weergegeven. Voor raai 1 en 2 is op basis van bovengenoemde overwegingen de gemiddelde ouderdom van het water niet in een figuur weergegeven.

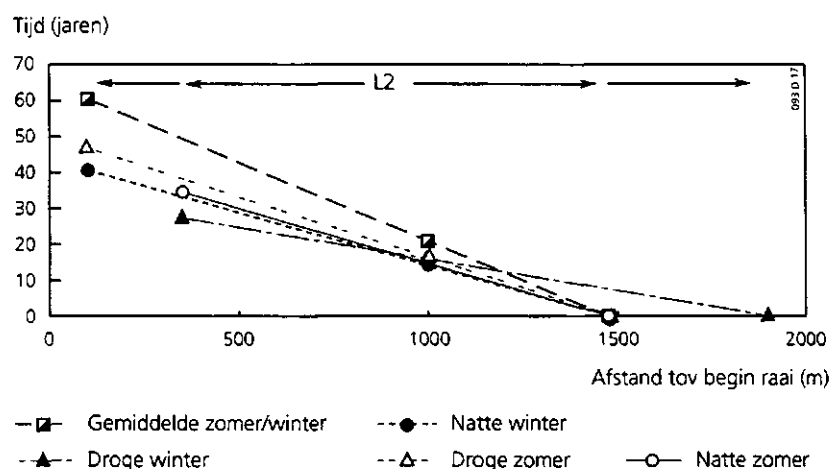


Fig. 17 Gemiddelde ouderdom kwelwater in raai 3

Voor de bepaling van de lijnen in figuur 17 is de volgende procedure gevolgd. In tabel 9 zijn de lengte en ligging van de kwelstrook L_2 weergegeven. Uit fig. 20 en 38 t/m 43 blijkt dat de kwel voornamelijk afkomstig is uit zuidoostelijk richting overeenkomend met een deel van de strook L_3 . Voor het beginpunt van de kwelstrook is een verblijftijd van 0 jaar aangehouden. Voor een waterdeeltje dat binnen de raai is geïnfiltreerd en opkwelt, is de locatie alsmede de ouderdom van het kwelwater bekend. Vervolgens is een lineair verband aangehouden tussen de twee bekende punten en zijn de waarden geëxtrapoleerd naar het punt waar de verblijftijd maximaal is (ca. 700 m).

Als gemiddelde waarde is voor raai 3 een ouderdom van het kwelwater gevonden voor het beschouwde deel van strook L_2 tussen de 0 en 25 jaar. Voor het overige deel van de kwelstrook L_2 komt het water uit een ander gebied en heeft daarom een afwijkende ouderdom. De locatie waar de twee watertypen elkaar ontmoeten ligt op ca. 700 m.

Voor de vaststelling van de ouderdom van het kwelwater in de belangrijkste kwelstrook van raai 4 (L_1 in tabel 11) in fig. 18 is min of meer dezelfde werkwijze toegepast. Voor de ligging van de kwelstrook is gebruik gemaakt van tabel 11. Verder zijn voor twee binnen de raai geïnfiltreerde waterdeeltjes de locatie alsmede de ouderdom van het water bekend. Tussen deze punten is weer een lineair verband verondersteld, waarbij vervolgens deze lijn is geëxtrapoleerd naar het einde van de kwelstrook. Extrapolatie naar het begin van de kwelstrook levert een afwijkende waarde van 0 op, doordat binnen het wegzijgingsgebied kleinere systemen voorkomen. Hierdoor moet het water een langere weg afleggen naar het beschouwde kwelgebied (fig 44 t/m 49). De verblijftijd binnen de kleinere systemen varieert van 0 tot 50 jaar in een natte winter tot 0 tot 80 jaar in een droge zomer.

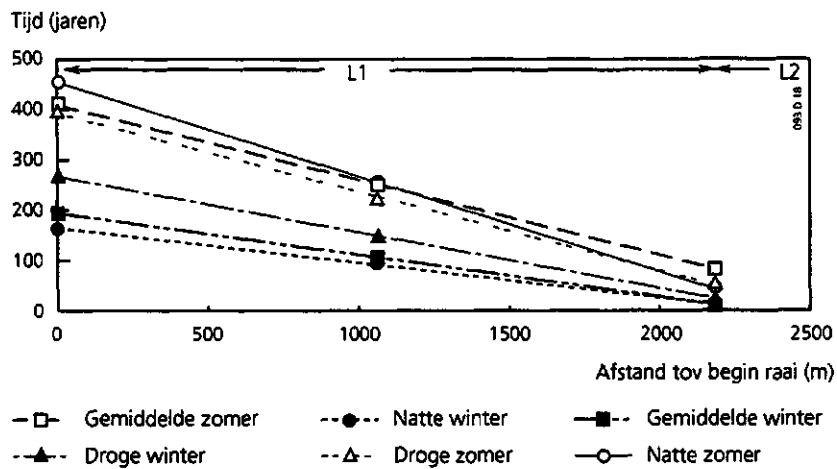


Fig. 18 Gemiddelde ouderdom kwelwater in raai 4

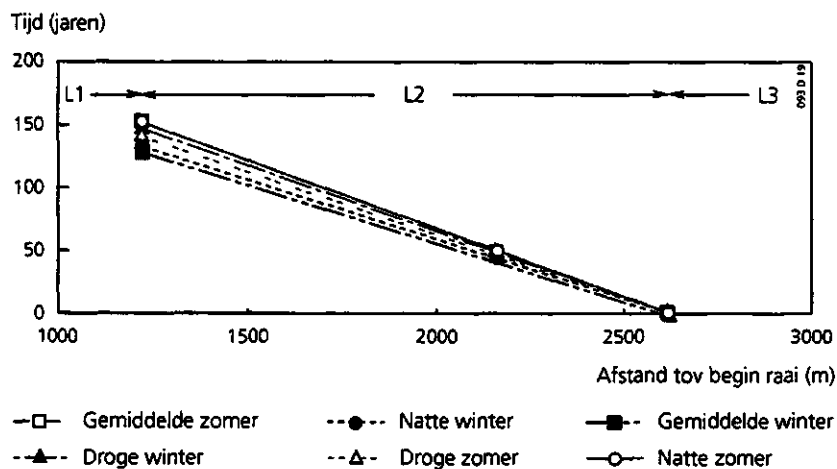


Fig. 19 Gemiddelde ouderdom kwelwater in raai 5

Voor fig. 19 is dezelfde gevolgd procedure als bij raai 3. Er is weinig verschil tussen de zes beschouwde perioden. De gemiddelde ouderdom van het kwelwater ligt tussen 0 en 140 jaar.

7 RUIMTELIJKE INTERPRETATIE VAN DE TRANSECTEN

In de transecten afzonderlijk zijn direct via de stroombanen relaties af te leiden van kwel- met wegzijgingsgebieden. Bij het aangeven van een ruimtelijke verbreiding van deze gebieden (fig. 61) vanuit de transecten is gebruik gemaakt van de geo-hydrologische opbouw van de ondergrond, het verloop van de isohypsen en het primaire waterlopenpatroon. Van de vijf raaien hebben raai 1 en 2 betrekking op afzonderlijke hydrologische systemen. Voor deze raaien kan een globale interpretatie plaatsvinden. De overige raaien zijn onderdeel van één relatief groot hydrologisch systeem, waardoor een ruimtelijke interpretatie tussen deze raaien mogelijk is.

7.1 Raai 1

In de ondergrond van raai 1 komt grotendeels potklei voor; alleen in het noordelijke deel van de raai ontbreekt de potklei. De raai ligt in een poldergebied met een relatief dicht slotenstelsel. Het gebied met potklei in de ondergrond is overwegend een kwelgebied waarbinnen een zone voorkomt met een geringe wegzijging. Waar de potklei ontbreekt gaat het kwelgebied langzaam over in een wegzijgingsgebied. In een droge en gemiddelde zomer heeft dit wegzijgingsgebied een aanzienlijke uitbreiding. Het kwelwater binnen de raai is grotendeels afkomstig van een gebied buiten de beschouwde doorsnede. Alleen het wegzijgingsgebied boven de potklei heeft aan weerszijden relaties met kwelstroken.

7.2 Raai 2

In de ondergrond van raai 2 komt overal potklei voor. Voor het grootste gedeelte vindt wegzijging plaats naar het 2^e watervoerend pakket. In de naaste omgeving van de hoofdwaterlopen zijn relatief kleine systemen aanwezig (fig. 57 en tabel 7). Het kwelgebied bij deze waterlopen wordt overwegend gevoed vanuit de aanliggende gronden en voor een gering deel vanuit het 2^e watervoerende pakket. Deze laatstgenoemde voeding is afkomstig uit zuidelijk gelegen wegzijgingsgebieden.

7.3 Raai 3, 4 en 5

In de raaien 3, 4 en 5 komt een relatief groot hydrologisch systeem voor, dat wordt gekenmerkt door een kwelzone langs de Slokkert en de Aa of Groot Diep met een bijbehorend aangrenzend wegzijgingsgebied in zuidoostelijke richting. In raai 4 komen in de omgeving van waterlopen plaatselijk kleine systemen voor. Uit de transecten zijn de kwelstroken overgenomen in de raaien in fig 61. De kwelstroken zijn op grond van het verloop van de Slokkert en de Aa of Groot Diep met behulp van topografie

en isohypsen met elkaar verbonden. Met uitzondering van een klein gebied (fig. 38 t/m 43) in raai 3 (K4) wordt het aangegeven kwelgebied gevoed vanuit zuidoostelijk aangrenzende gronden. In raai 4 en 5 wordt een relatief hoge kwel aangetroffen, in raai 3 is deze aanzienlijk minder. De verschillen in kwelintensiteit kunnen worden toegeschreven aan potklei ter plaatse van de primaire waterloop in raai 3. Uit het verloop van de isohypsen is de begrenzing van het wegzijgingsgebied bij de kwelzone verkregen. Uit raai 4 en 5 (fig. 44 t/m 55) blijkt dat een relatief groot wegzijgingsgebied behoort bij de kwelzone in deze raaien, respectievelijk W3 en W1. Voor raai 3 is het bijbehorende wegzijgingsgebied (W2) te lokaliseren uit fig. 38 t/m 43.

De omvang van het wegzijgingsgebied is op grond van de verbreiding van de potklei, de loop van de Aa of Groot Diep en het verloop van de isohypsen benaderd. Het verkregen wegzijgingsgebied is vervolgens op grond van het verloop van de isohypsen in het 2^e watervoerend gerelateerd aan een bijbehorend kwelgebied. Uit raai 3 blijkt dat zuidoostelijk van het beschouwde wegzijgingsgebied eveneens wegzijging optreedt (W5).

Uit het verloop van de stroombanen kan worden afgeleid dat het geïnfiltreerde water onder de kwelzone door de ondergrond afstroomt in noordelijke richting. De begrenzing van het betreffende gebied is verkregen uit het verloop van de isohypsen. Deze exercitie heeft een kaartbeeld opgeleverd, waarin onderdelen van de kwelzone zijn verbonden met bijbehorende wegzijgingsgebieden. Voor raai 3 is dit direct af te leiden uit het verloop van de stroombanen. Voor raai 5 is het wegzijgingsgebied benaderd uit de waterbalans (tabel 13). De oppervlakte van het kwelgebied bij deze raai is ongeveer 300 ha, de intensiteit van de kwel is globaal een factor 4 hoger dan de wegzijging. Dit betekent dat de oppervlakte van het bijbehorende wegzijgingsgebied in grootte-orde 1200 ha bedraagt. Vanuit dit gegeven is de begrenzing van het wegzijgingsgebied aan te geven. Voor raai 4 ligt de begrenzing zoals ook uit de transect is af te leiden buiten de modelbegrenzing.

De ligging van de kwelgebieden in raai 4 en 5 (W1 en W3) verandert niet voor de beschouwde seizoenen (tabel 11 en 13); voor kwelgebied W2 blijkt de ligging van de kwelstrook in de winter niet te veranderen. In de droge zomer van 1986 wordt de kwelstrook breder en hij verschuift enigszins, terwijl in de natte zomer van 1987 de kwelstrook smaller wordt. De verschillen in de kwel en wegzijgingsintensiteiten zijn voornamelijk een gevolg van verschillen in meteorologische omstandigheden.

LITERATUUR

BUISHAND T.A. en VELDS C.A., 1980. *Neerslag en verdamping; klimaat van Nederland 1*. De Bilt, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut.

ENGELN G.B.; J.M.J. GIESKE en S.O. LOS, 1989. *Grondwaterstromingsstelsels in Nederland*. 's-Gravenhage, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij; Staatsbosbeheer. Achtergrondreeks Natuurbeleidsplan nr. 2.

GERAEDTS, J.M., 1990. *Hydrologische systeembeschrijving Roden-Norg*. Landinrichtingsdienst, Afdeling Onderzoek.

GROENENDIJK P., 1990. *De invloed van wateraanvoer op de grondwaterstroming in een verticale doorsnee door de Empese en Tondense heide berekend met het model STRELIN*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 63.

POELMAN, A. en J. M. GERAEDTS, 1993. *Hydrologisch onderzoek voorontwerp Roden-Norg*. Assen, Landinrichtingsdienst.

OLSTHOORN, Th. N., 1977. 'In Nederlandse zandformaties zijn het doorstroomde en het totale porievolume aan elkaar gelijk'. *H₂O*(10) 1977, nr. 5; 118.

VRIES, DE J.J., 1974. *Groundwater flow systems and stream nets in the Netherlands*. Amsterdam. Vrije Universiteit Amsterdam.

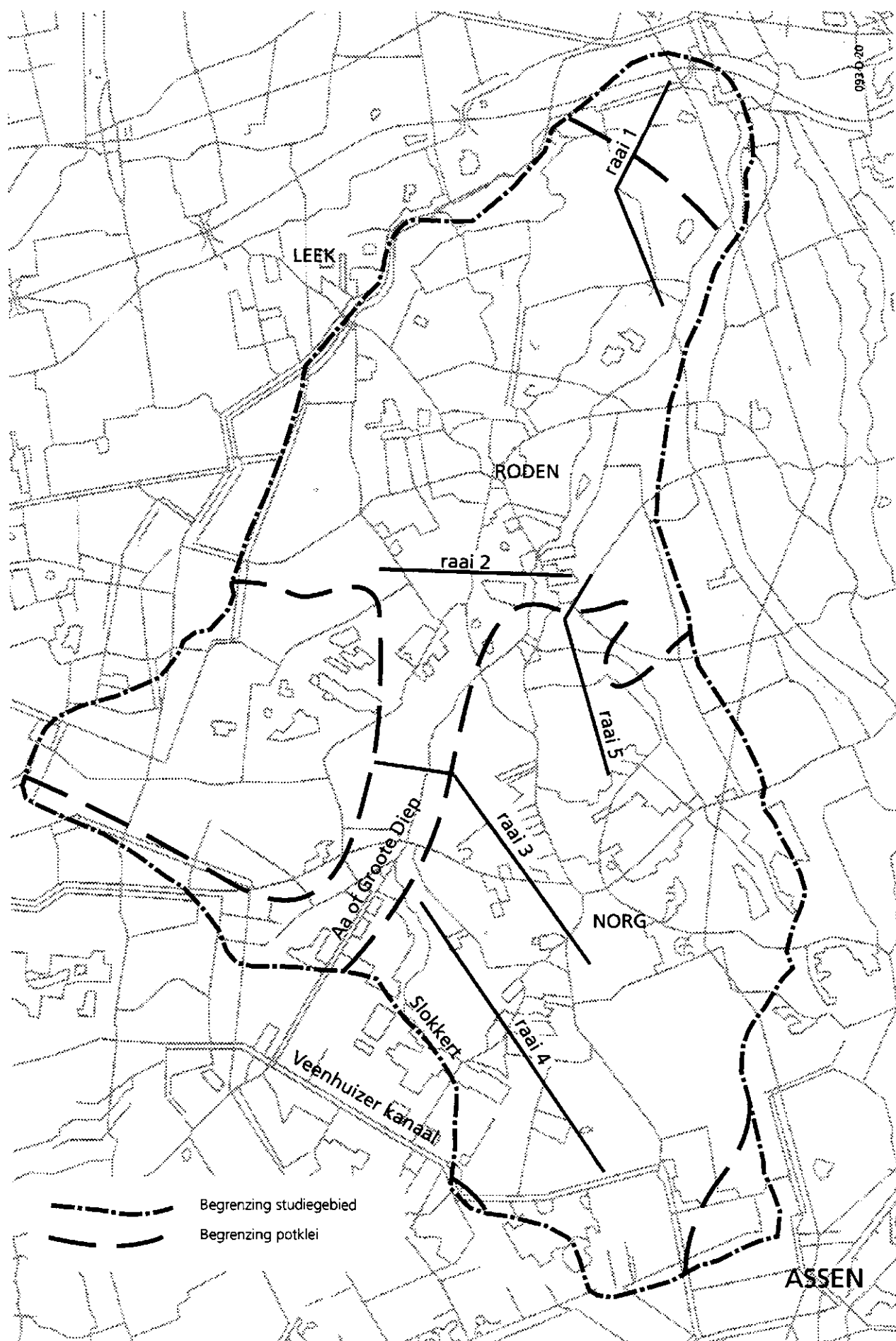


Fig. 20 Locatie dwarsraaien

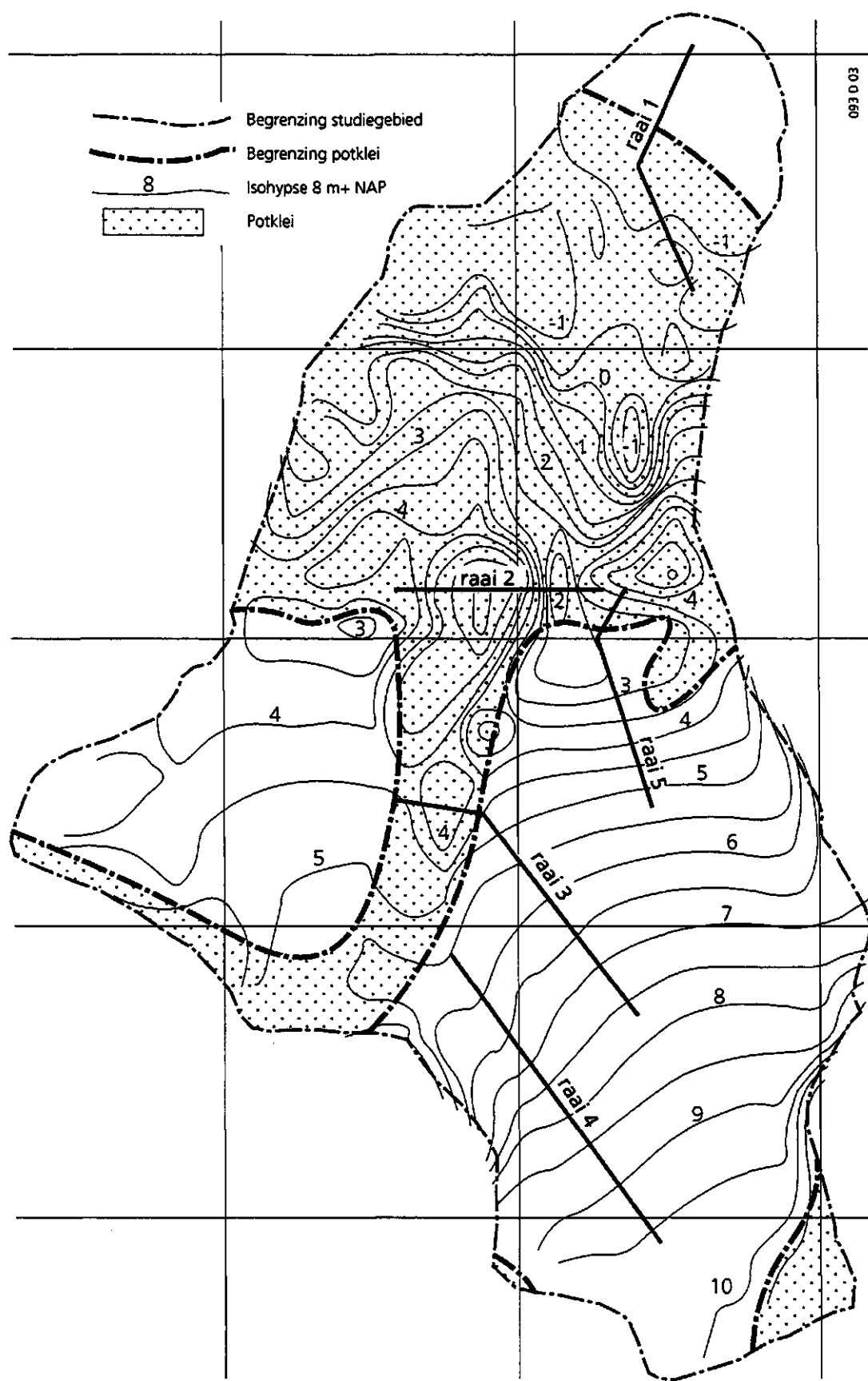
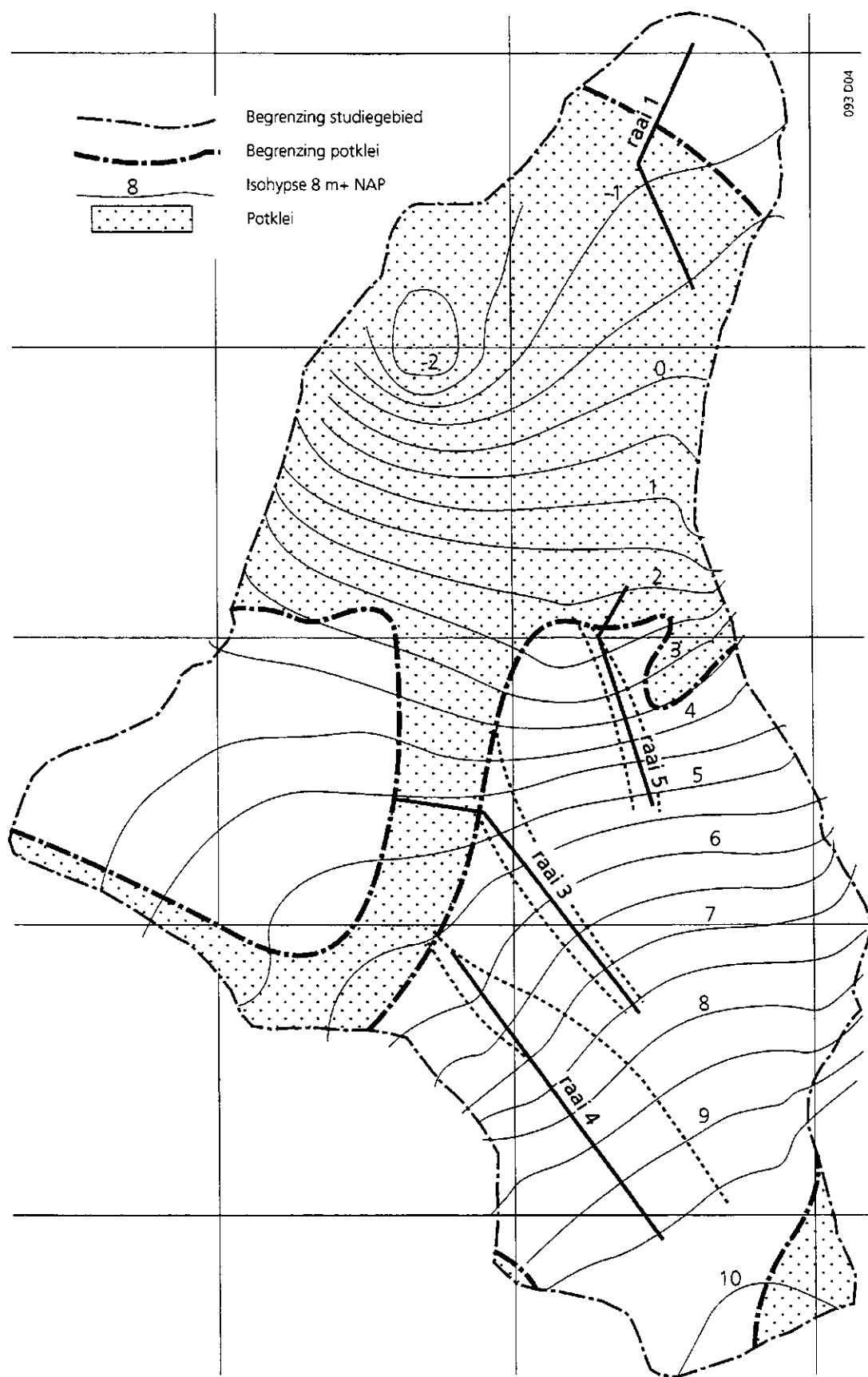
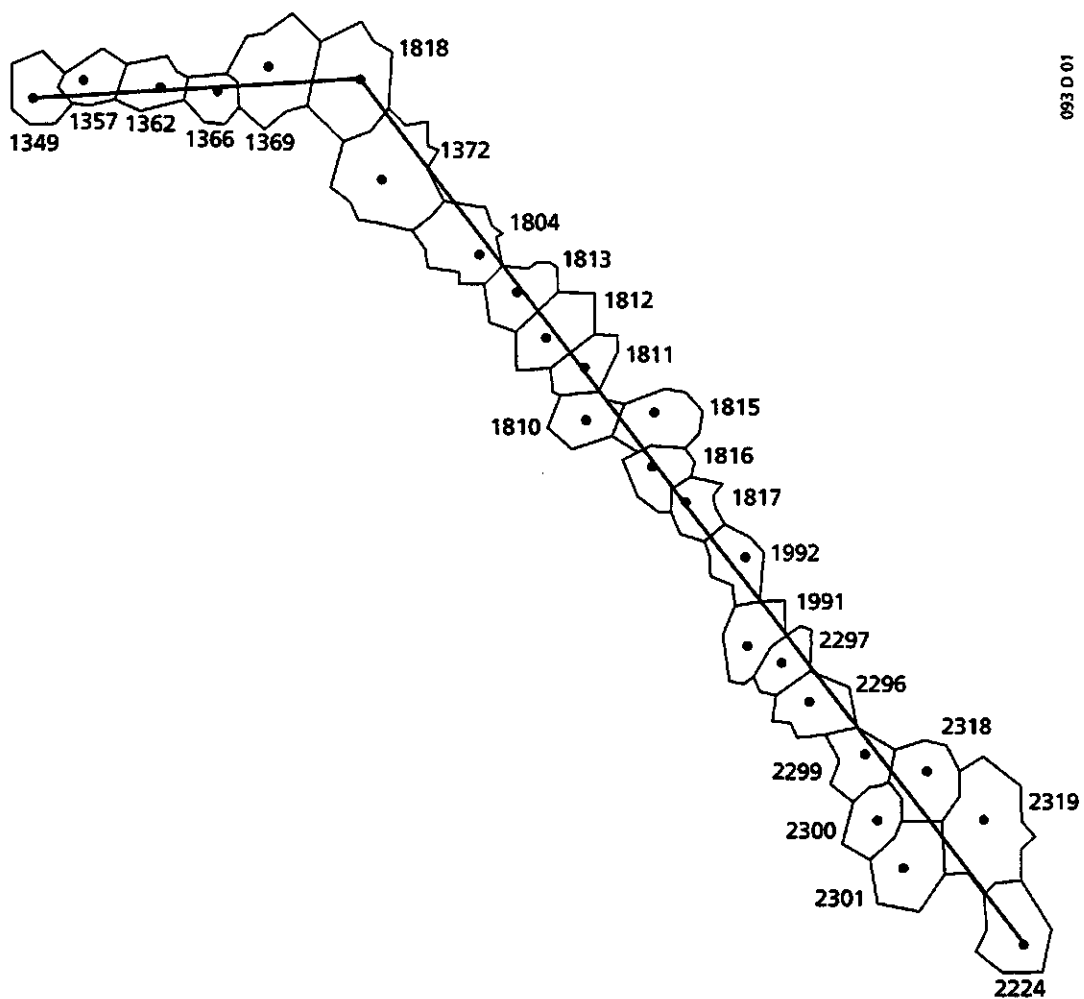


Fig. 21 Isohysenkaart 1^e watervoerend pakket (april 1987)



093 D04

Fig. 22 Isohypsenaart 2^e watervoerend pakket (april 1987)



093 D 01

Fig. 23 Koppeling SIMGRO en STRELIN

Horizontale afmeting compartiment (2=50m en 1=25m) ---->

Fig. 24 Geohydrologische gegevens zoals deze zijn opgenomen in het invoerbestand STRELIN.DAT

Fig. 24 Geohydrologische gegevens zoals deze zijn opgenomen in het invoerbestand STRELIN.DAT

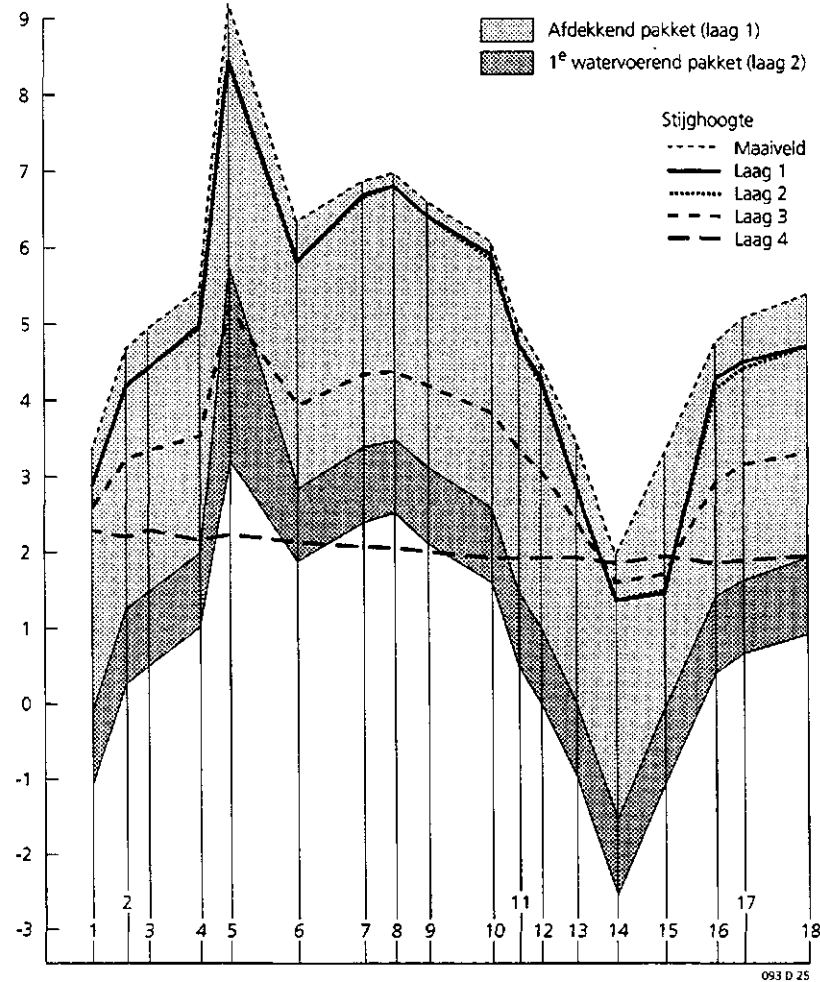
Grootheden per code

Code	Horizontale doorlatendheid	Verticale doorlatendheid	Porositeit
Z	0.0001	100000.	0.000001
*	0.0001	0.0001	0.30
Y	5.000	2.500	0.30
X	0.001	0.001	0.30
W	35.000	17.500	0.30
a	0.204	0.204	0.30
b	0.042	0.042	0.30
c	0.074	0.074	0.30
d	0.114	0.114	0.30
e	0.094	0.094	0.30
f	0.059	0.059	0.30
g	0.079	0.079	0.30
h	0.019	0.019	0.30
i	0.123	0.123	0.30
j	0.207	0.207	0.30
k	0.126	0.126	0.30
l	0.069	0.069	0.30
m	0.031	0.031	0.30
n	0.018	0.018	0.30
o	0.029	0.029	0.30
p	0.024	0.024	0.30
q	0.029	0.029	0.30
r	0.024	0.024	0.30
s	0.009	0.009	0.30
t	0.022	0.022	0.30

Dwarsdoorsnede tussen de knooppunten 762 en 1083

Hoogte (m + NAP)

Dagnummer 91, jaar 1985



Nummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Knooppuntnummer	762	763	764	987	988	989	982	979	977	973
Afstand (m)	0	189	298	563	723	1083	1432	1603	1744	2120
Maaiveld	3,40	4,80	5,00	5,50	9,25	6,40	6,95	7,05	6,65	6,10
Laag 1 Stijghoogte c (d)	2,93	4,31	4,52	4,98	8,43	5,86	6,78	6,87	6,48	5,91
Laag 2 Stijghoogte kD (m ² /d)	2,93	4,30	4,50	5,03	8,34	5,84	6,75	6,86	6,48	5,85
Laag 3 Stijghoogte c (d)	2,63	3,27	3,40	3,60	5,30	4,00	4,43	4,48	4,27	3,90
Laag 4 Stijghoogte kD (m ² /d)	1	1	1	1	13	1	1	1	1	1
Laag 1 Stijghoogte kD (m ² /d)	5670	5633	5600	5215	5215	5215	5215	5215	5215	5250

Nummer	11	12	13	14	15	16	17	18
Knooppuntnummer	972	971	1103	1102	1128	1124	1126	1083
Afstand (m)	2254	2374	2551	2771	3026	3303	3449	3799
Maaiveld	5,00	4,50	3,50	2,00	3,50	5,00	5,20	5,50
Laag 1 Stijghoogte c (d)	4,81	4,29	2,89	1,40	1,53	4,42	4,63	4,83
Laag 2 Stijghoogte kD (m ² /d)	4,80	4,24	2,89	1,40	1,56	4,33	4,56	4,82
Laag 3 Stijghoogte c (d)	3,40	3,10	2,44	1,65	1,77	3,11	3,26	3,43
Laag 4 Stijghoogte kD (m ² /d)	2,00	1,97	1,98	1,89	1,99	1,90	1,95	2,03
Laag 1 Stijghoogte kD (m ² /d)	5443	5495	5688	5600	5950	5915	5950	5950

Fig. 25 Maaiveld, grondwaterstand en stijghoogteverloop in raai 2

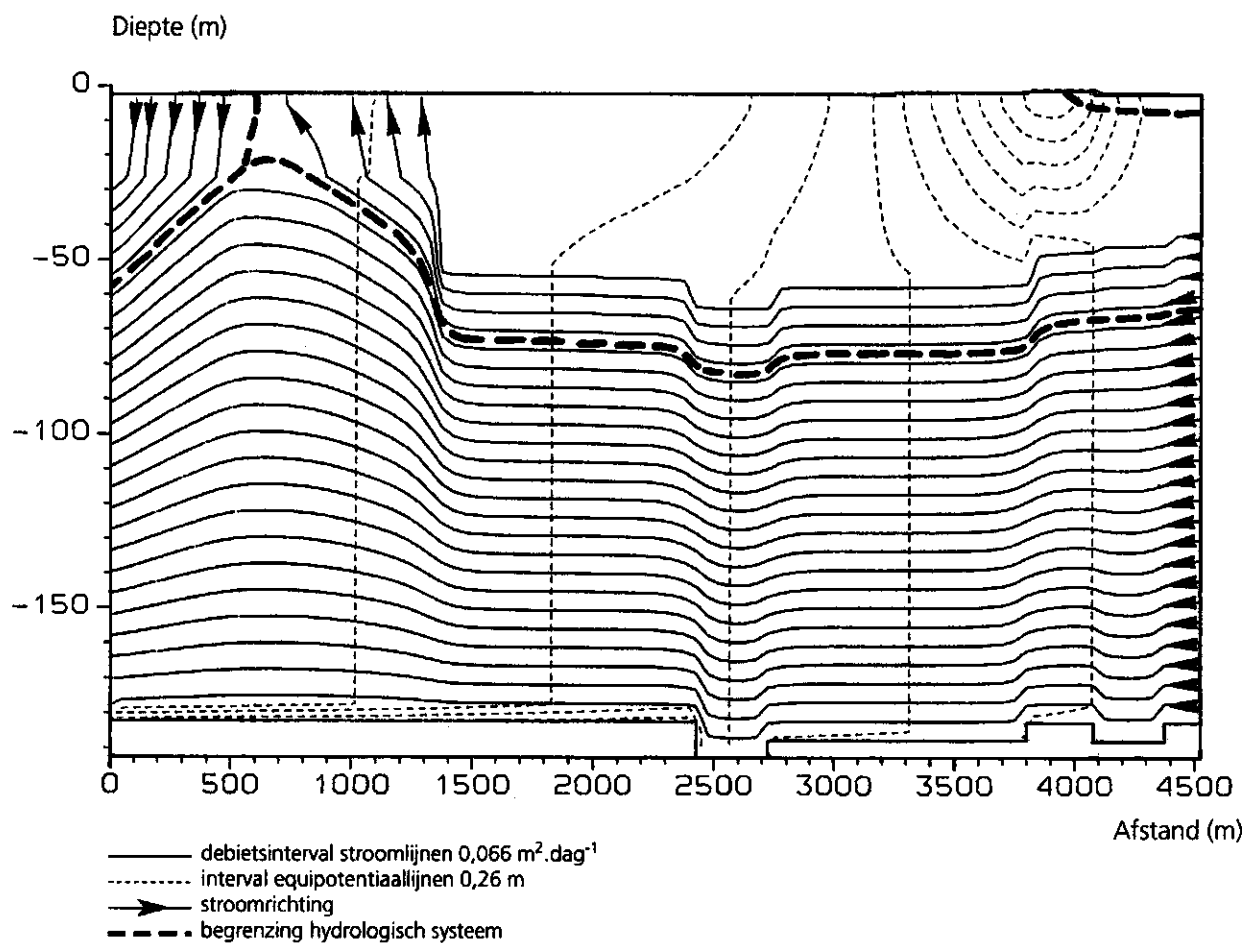


Fig. 26 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 1, droge winter 1 okt. 84 - 1 apr. 85

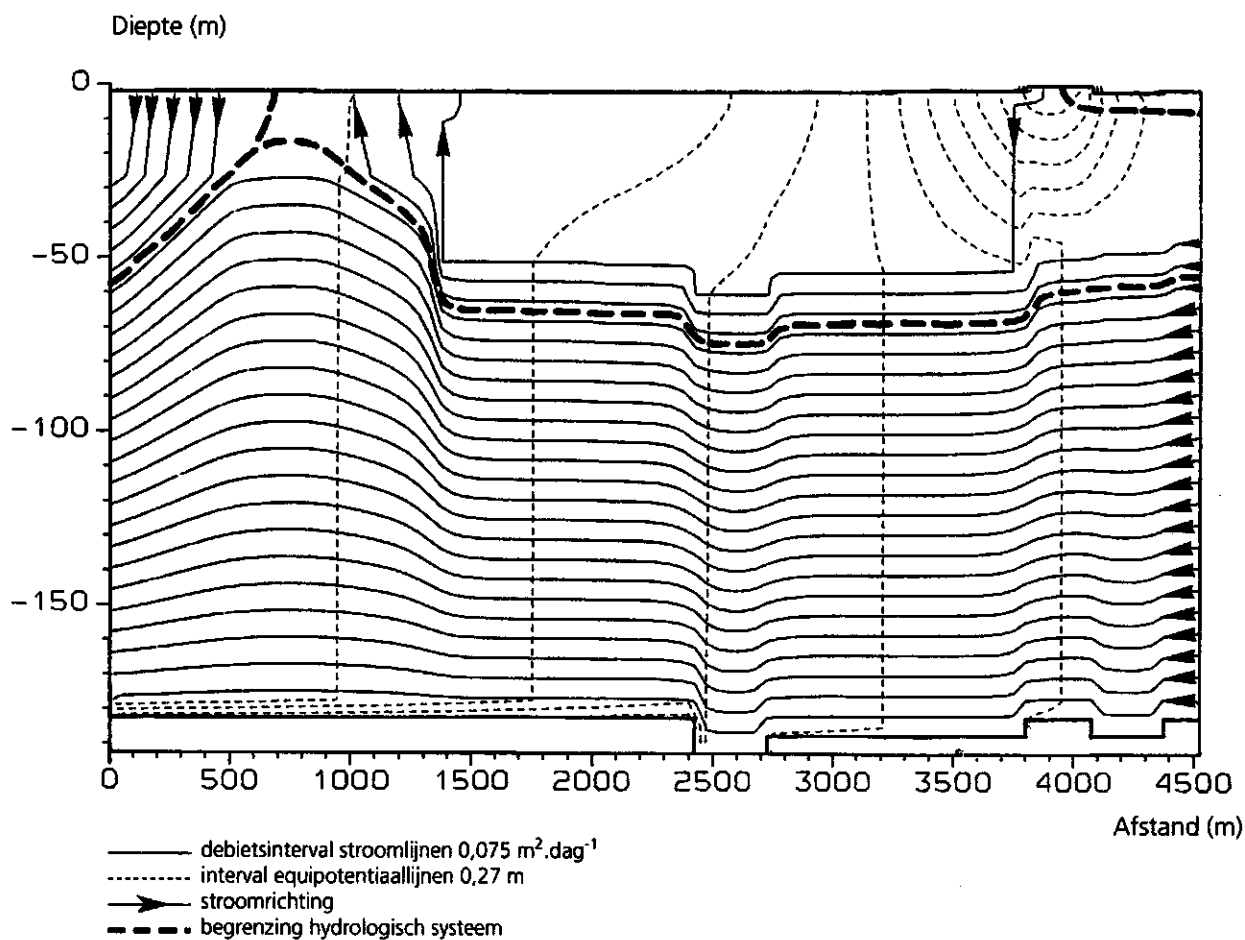


Fig. 27 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 1, gemiddelde winter 1 okt. 85 - 1 apr. 86

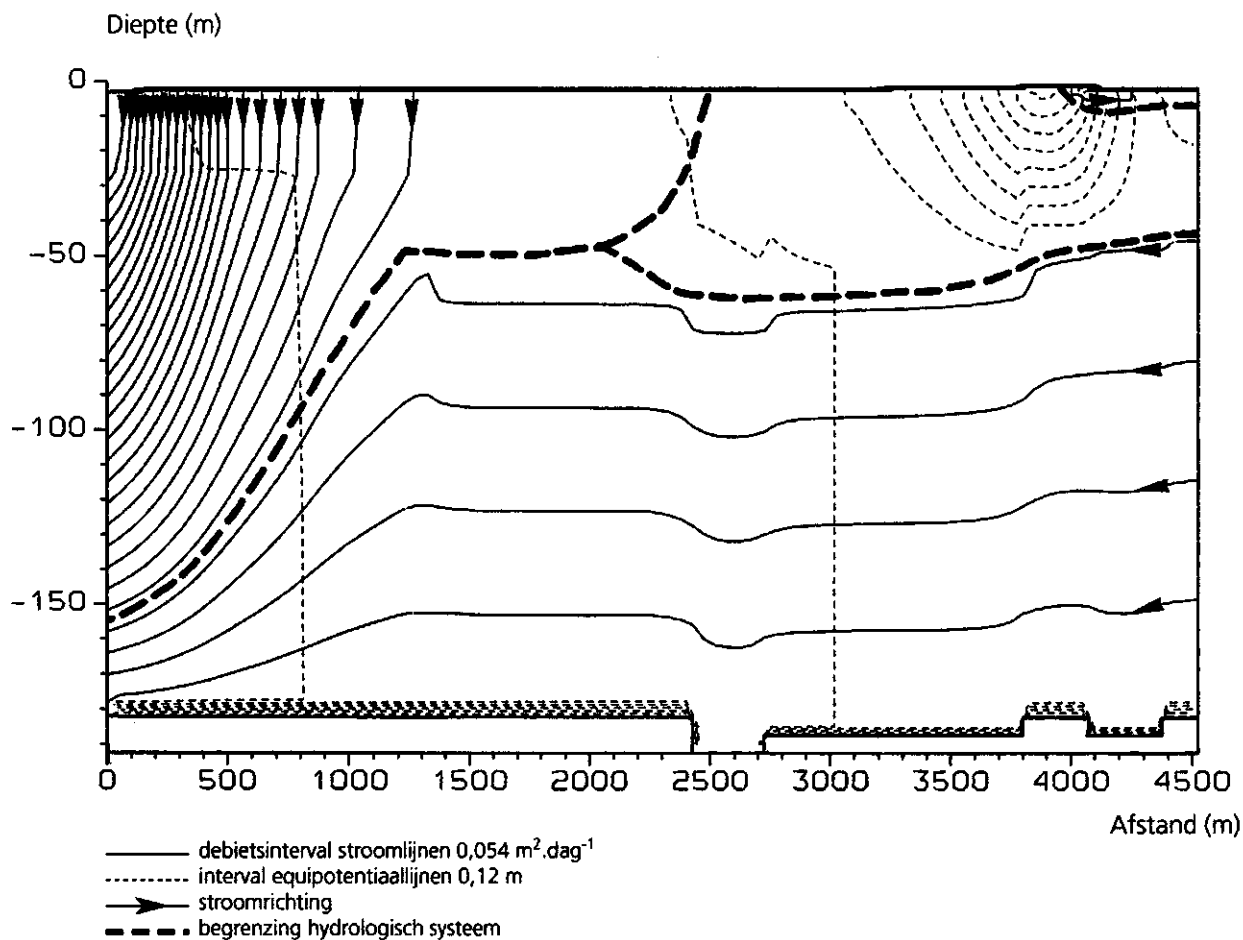


Fig. 28 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 1, droge zomer 1 apr. 86 - 1 okt. 86

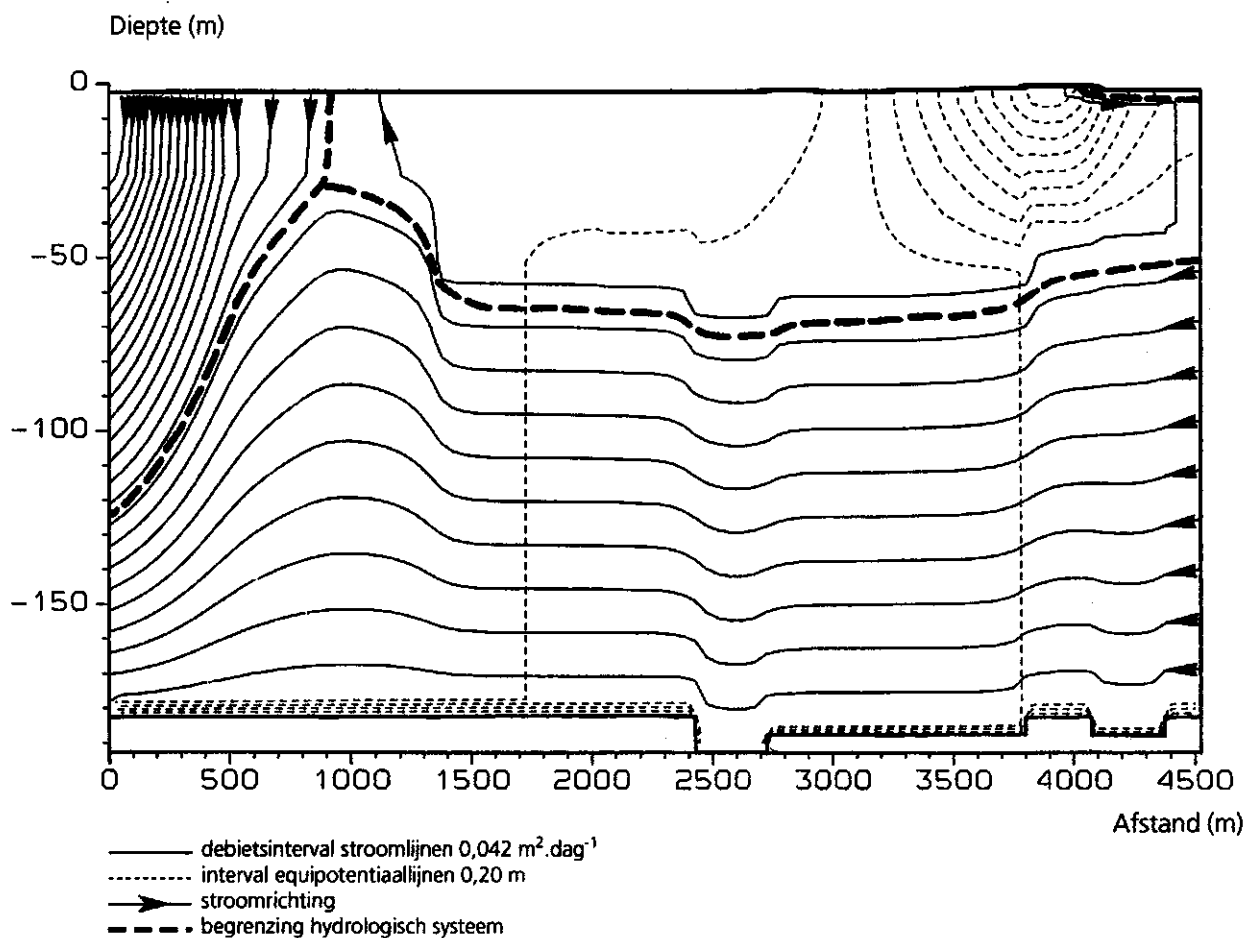


Fig. 29 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 1, natte winter 1 okt. 86 - 1 apr. 87

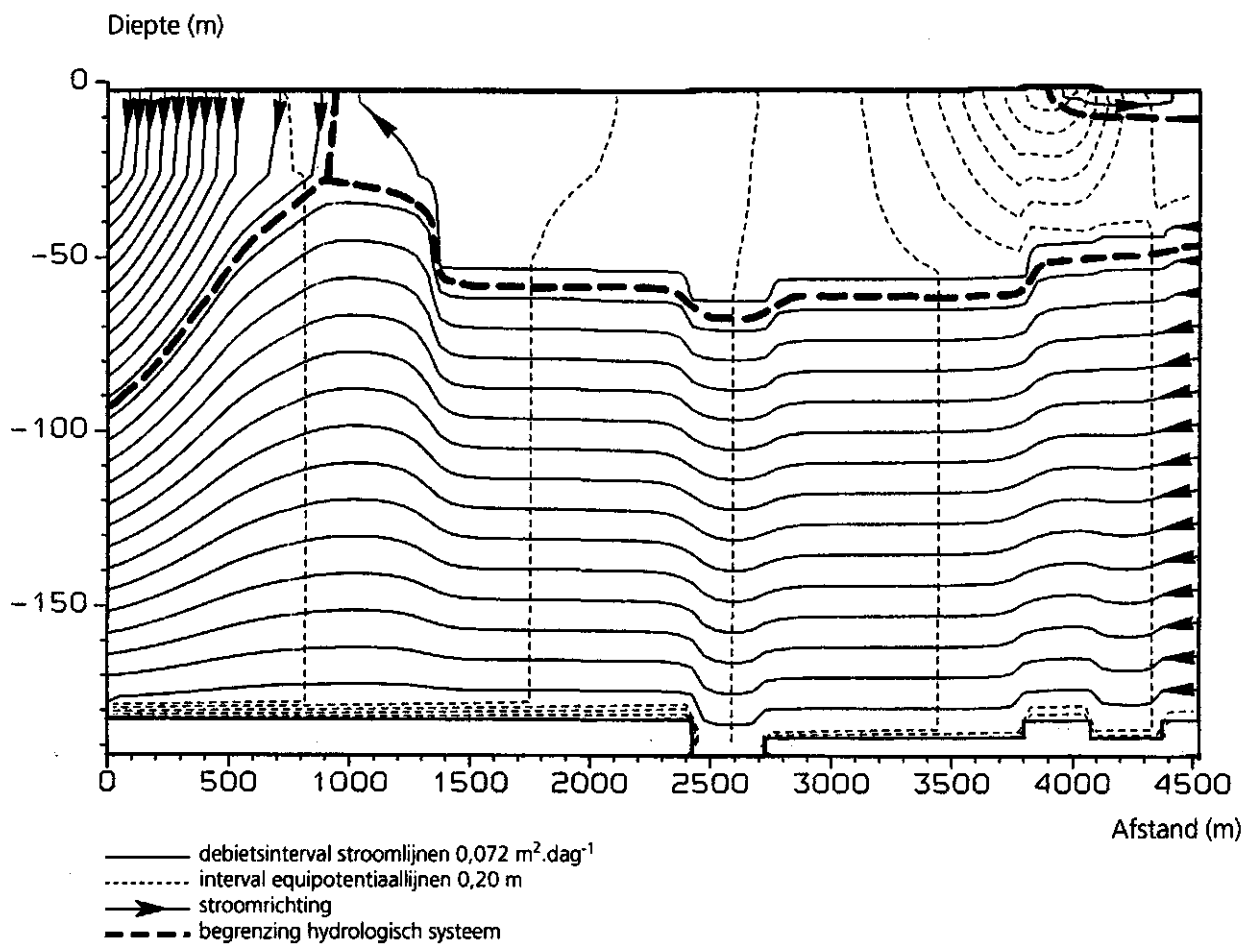


Fig. 30 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 1, natte zomer 1 apr. 87 - 1 okt. 87

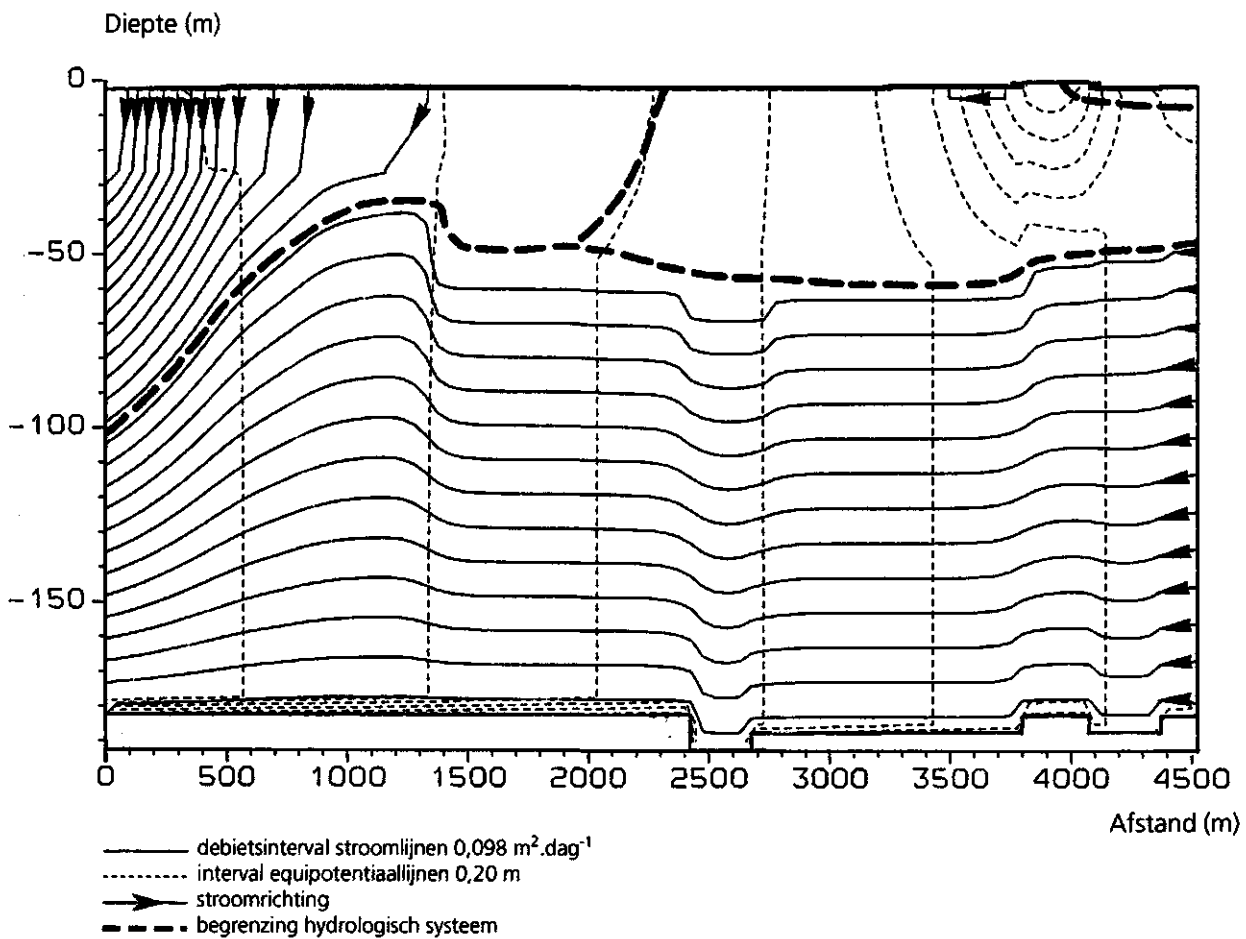


Fig. 31 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 1, gemiddelde zomer 1 apr. 88 - 1 okt. 88

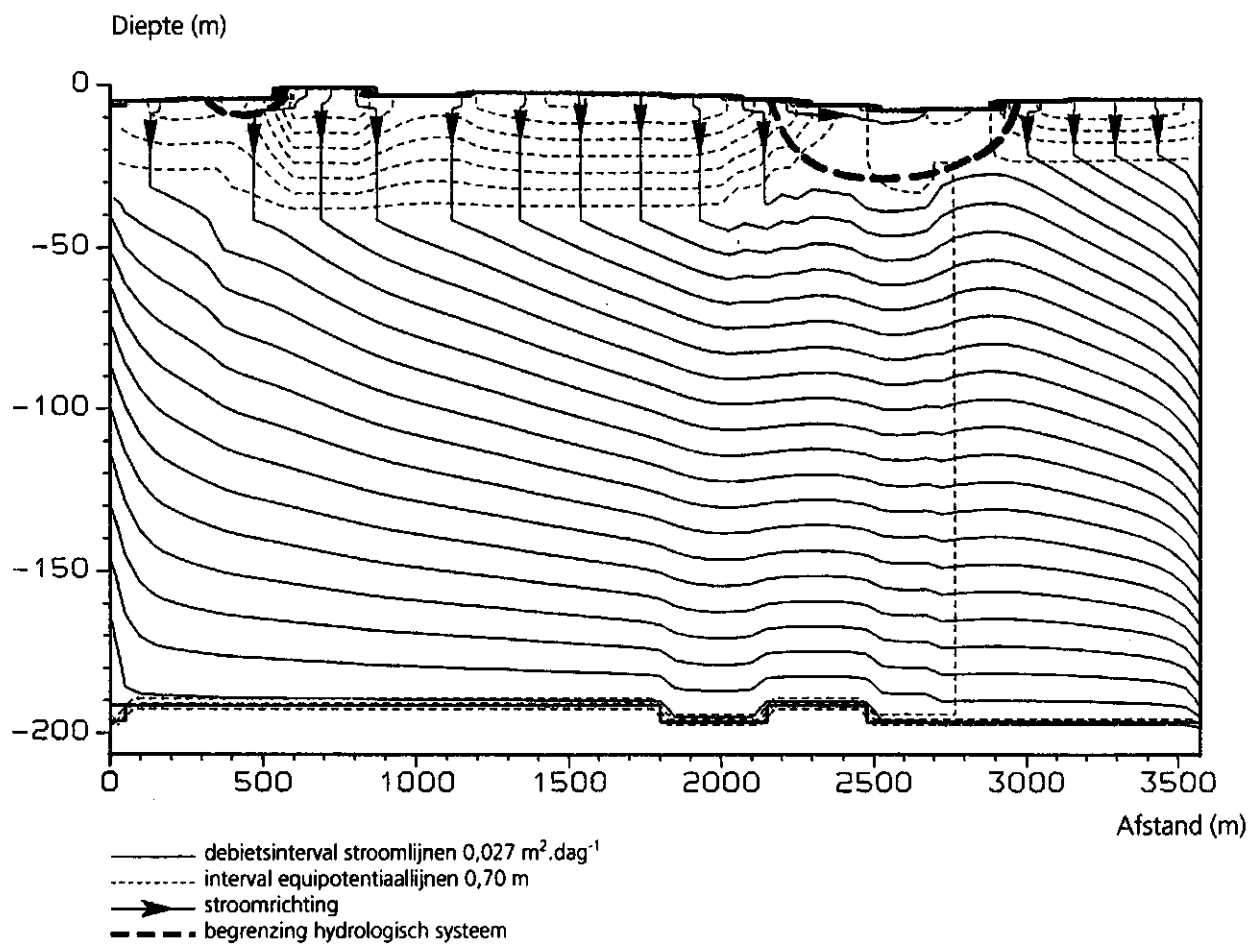


Fig. 32 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 2, droge winter 1 okt. 84 - 1 apr. 85

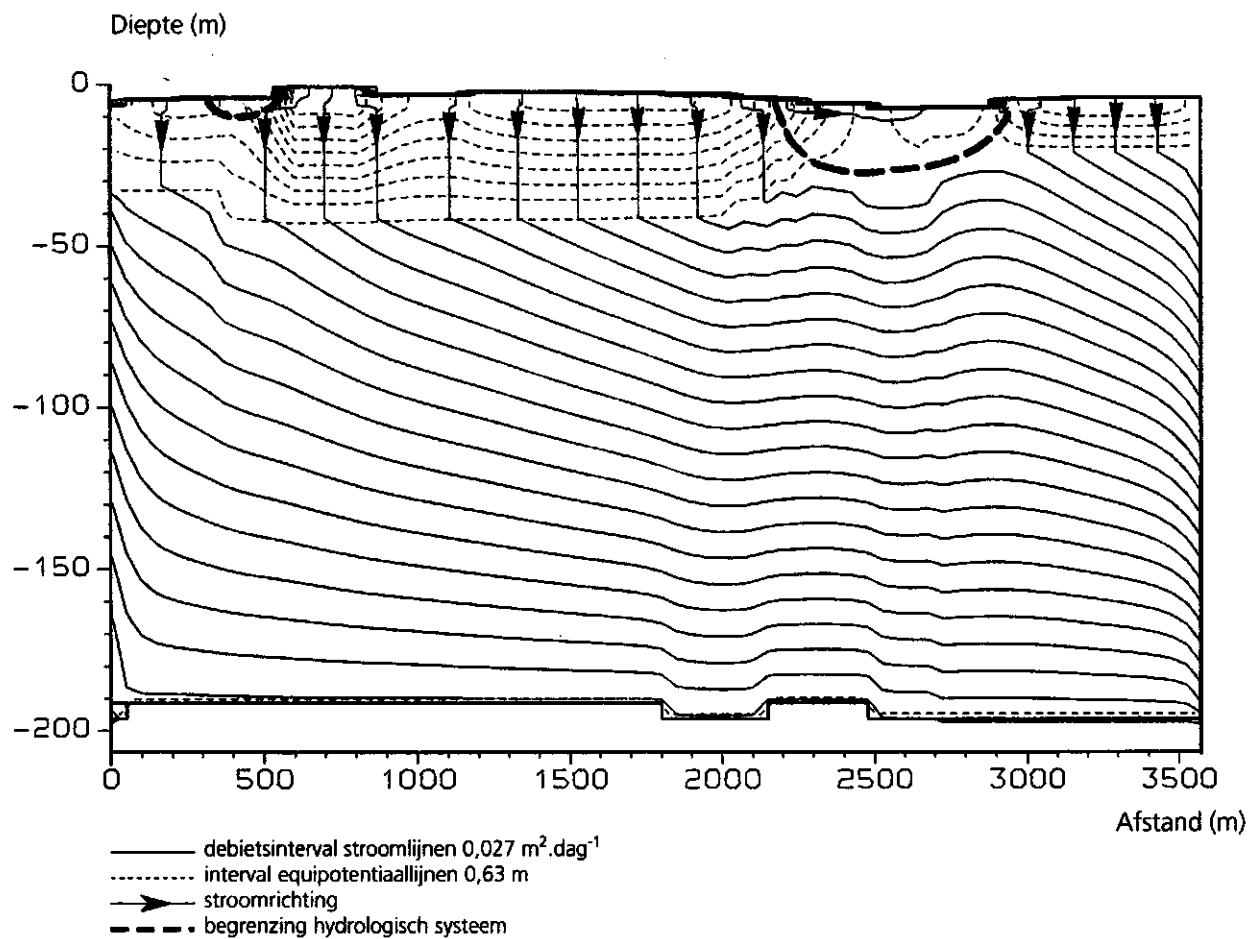


Fig. 33 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 2, gemiddelde winter 1 okt. 85 - 1 apr. 86

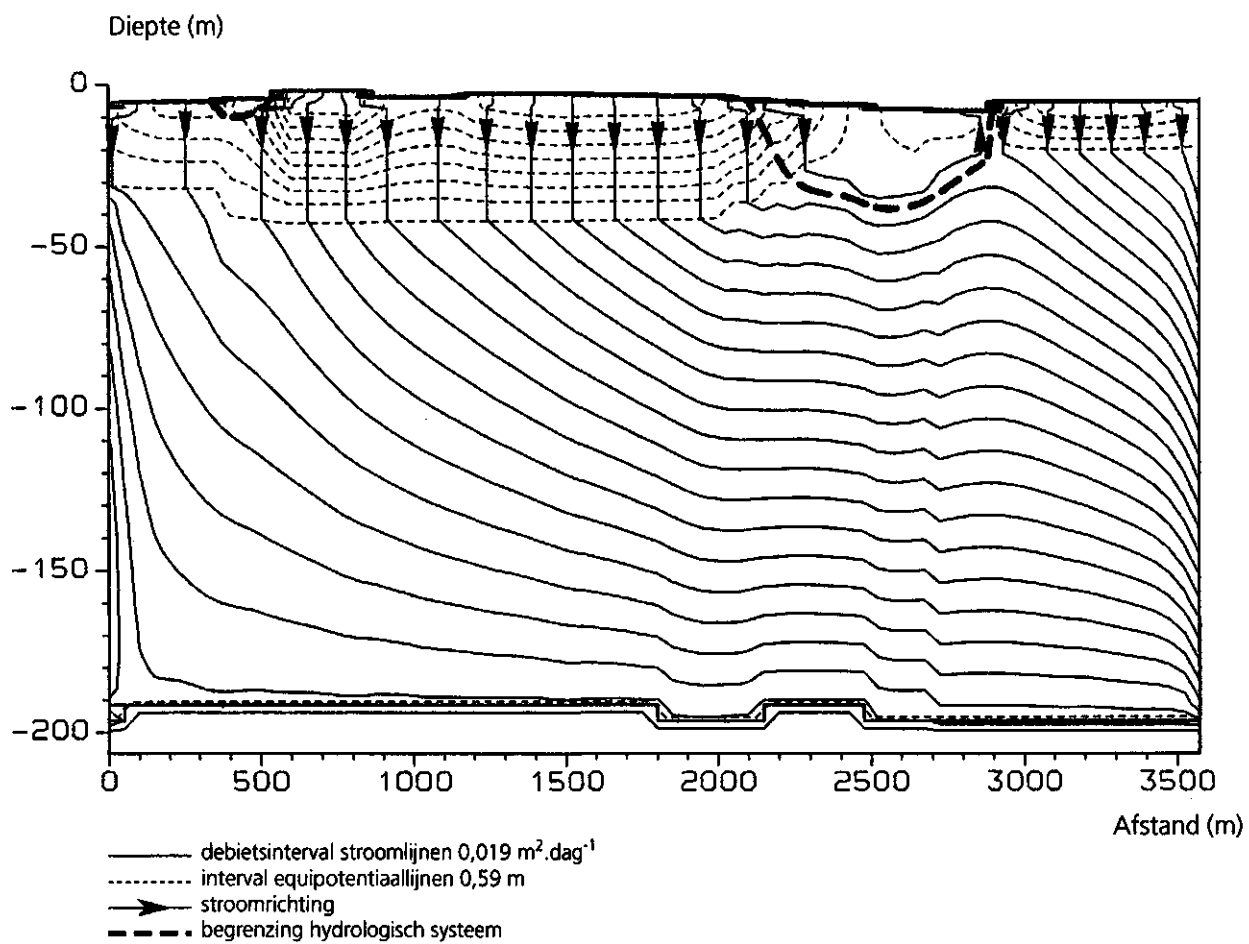


Fig. 34 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 2, droge zomer 1 apr. 86 - 1 okt. 86

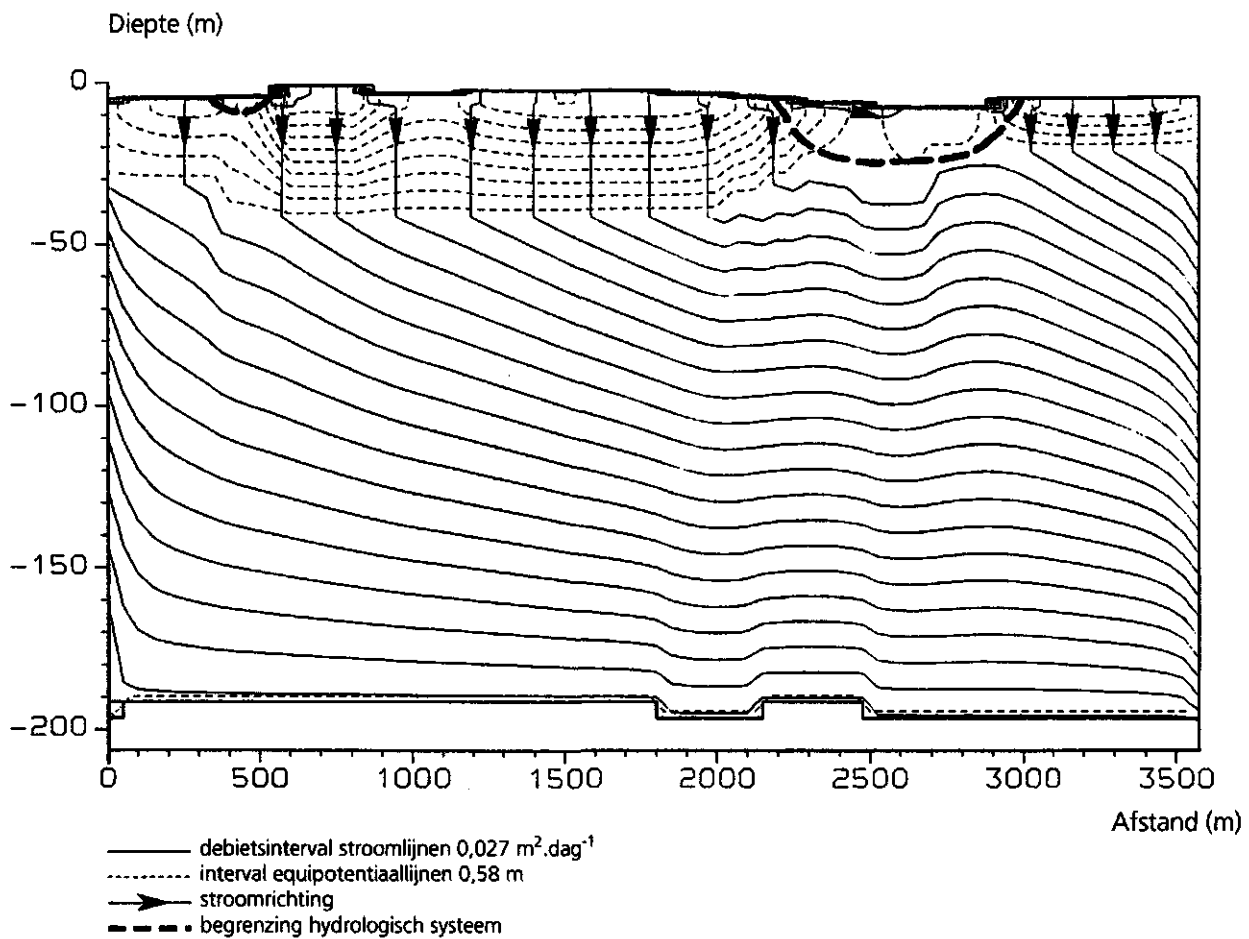


Fig. 35 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 2, natte winter 1 okt. 86 - 1 apr. 87

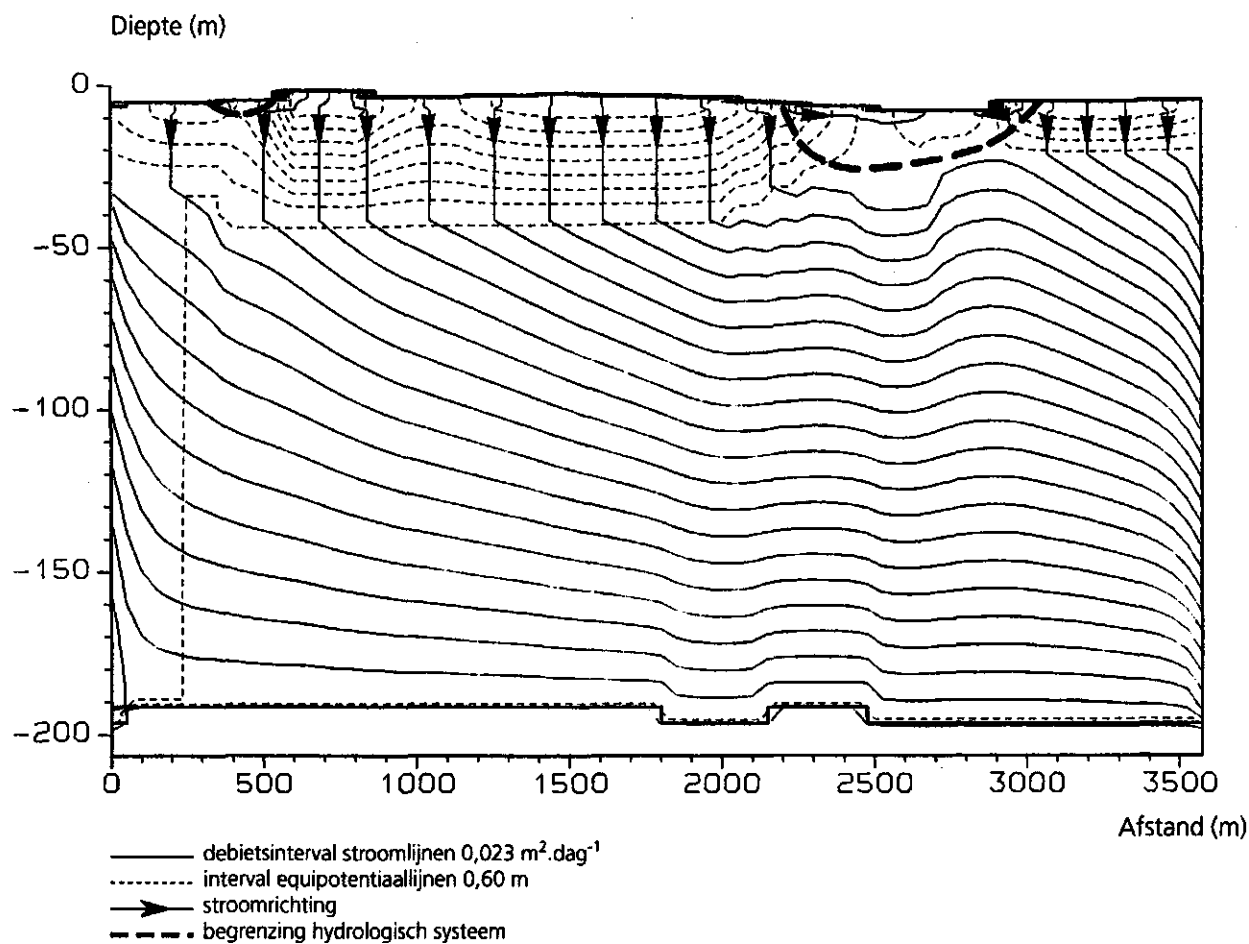


Fig. 36 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 2, natte zomer 1 apr. 87 - 1 okt. 87

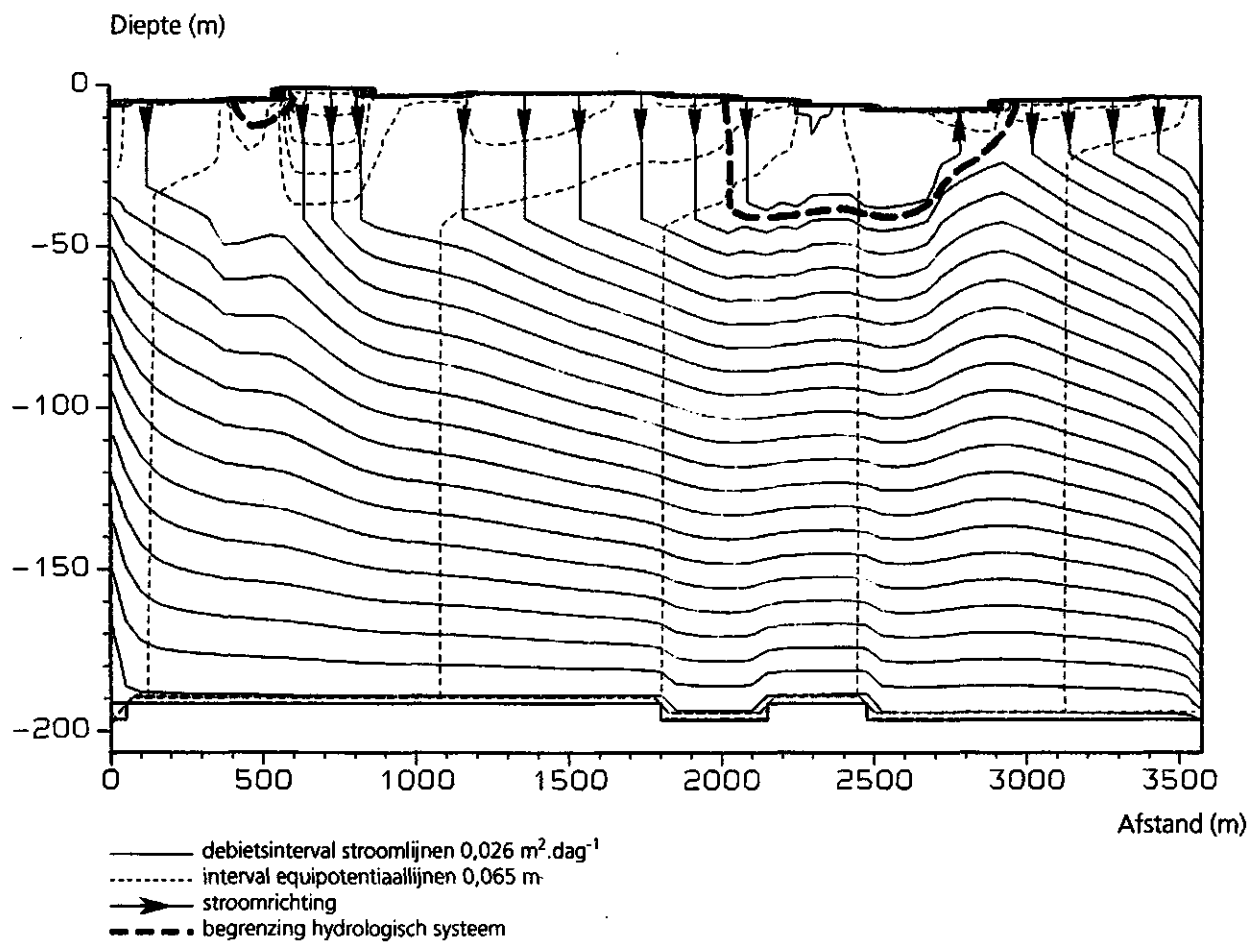


Fig. 37 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 2, gemiddelde zomer 1 apr. 88 - 1 okt. 88

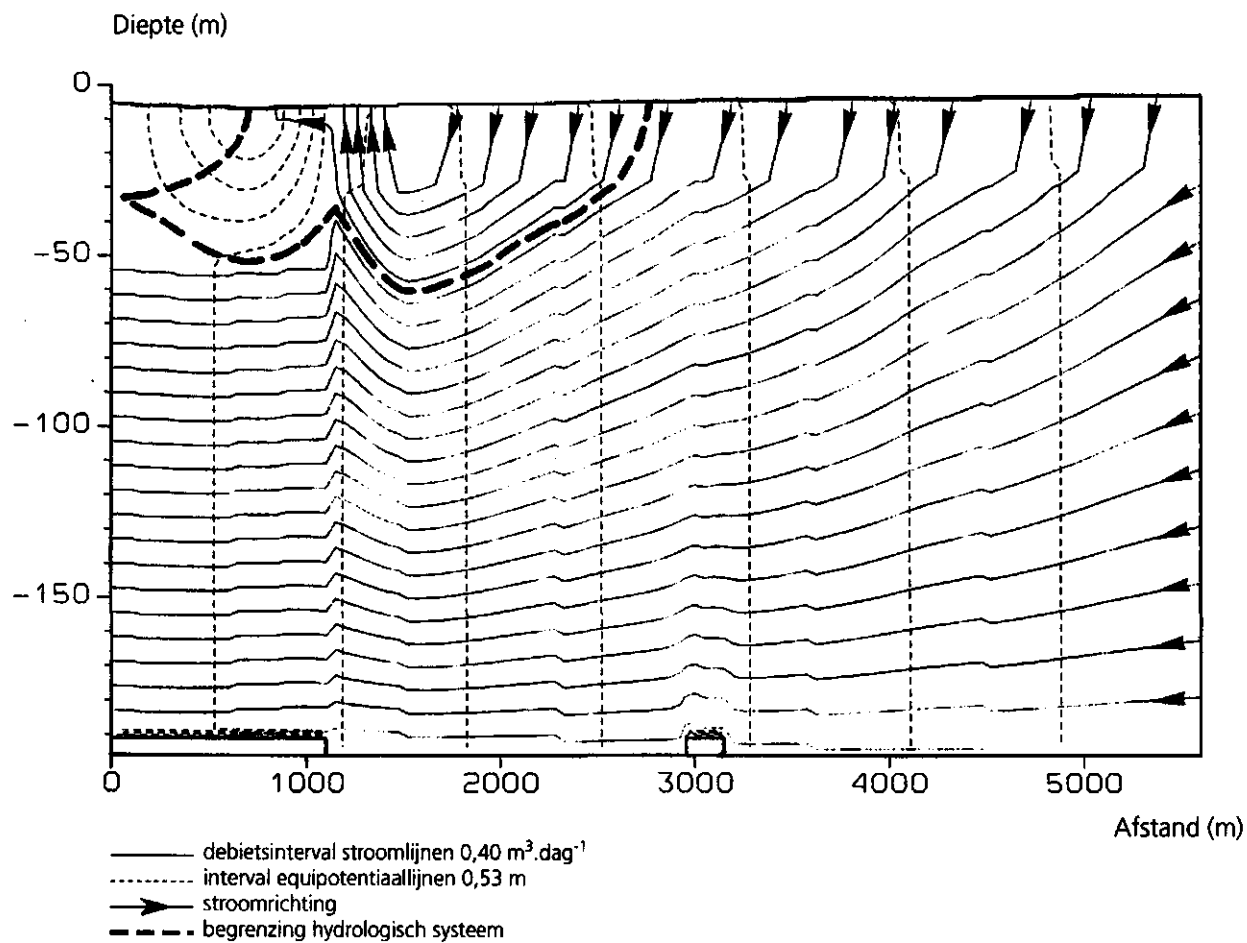


Fig. 38 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 3, droge winter 1 okt. 84 - 1 apr. 85

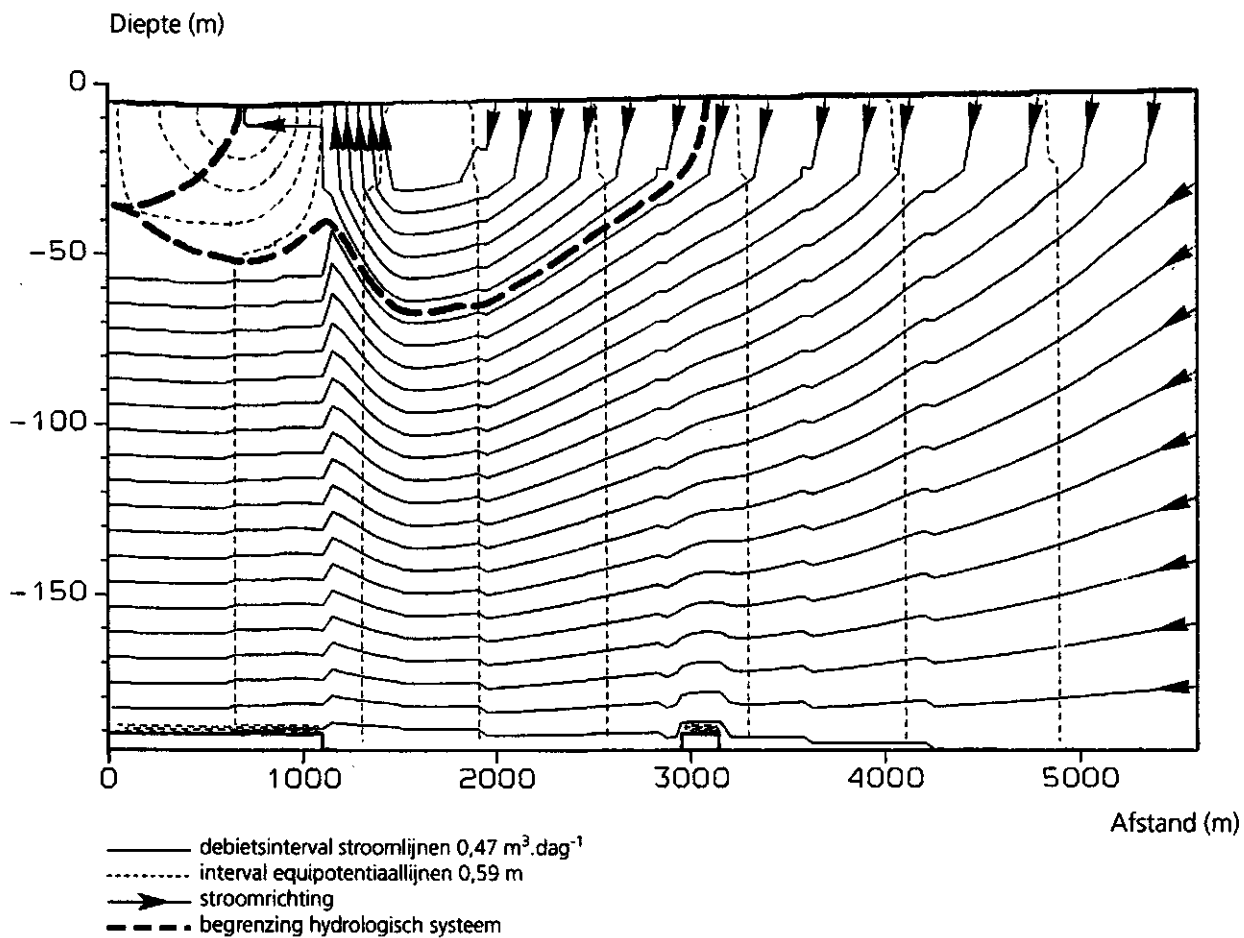


Fig. 39 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 3, gemiddelde winter 1 okt. 85 - 1 apr. 86

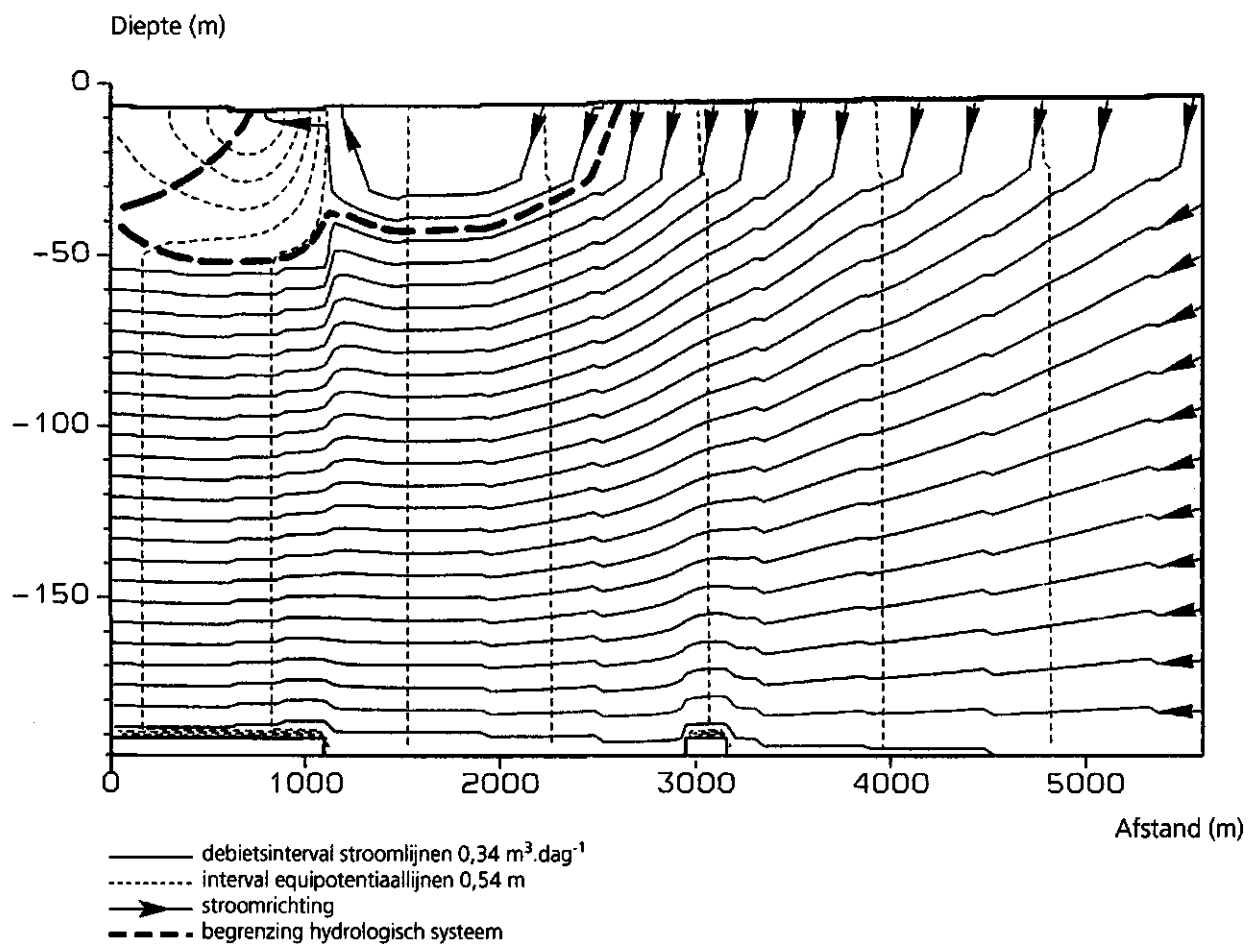


Fig. 40 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 3, droge zomer 1 apr. 86 - 1 okt. 86

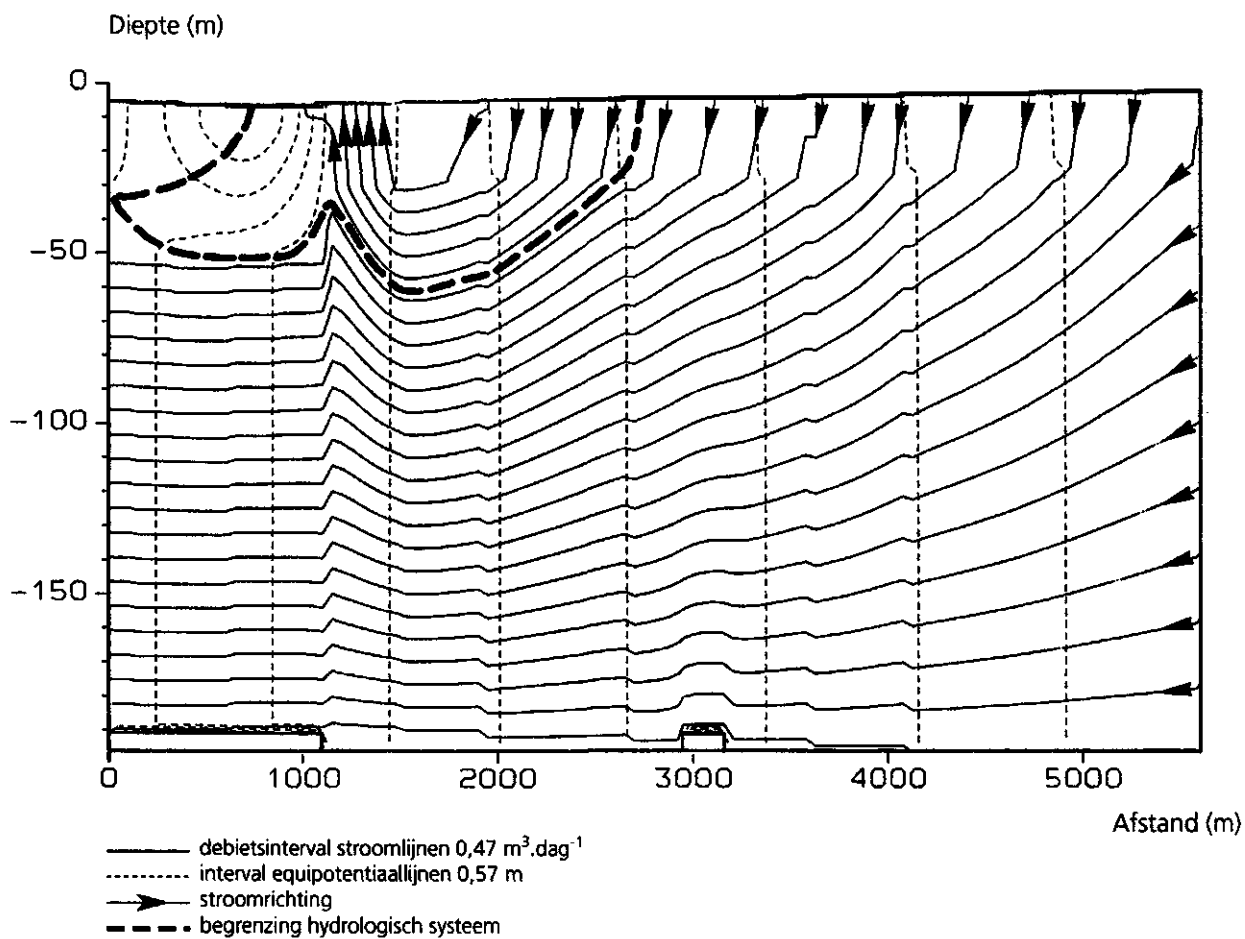


Fig. 41 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 3, natte winter 1 okt. 86 - 1 apr. 87

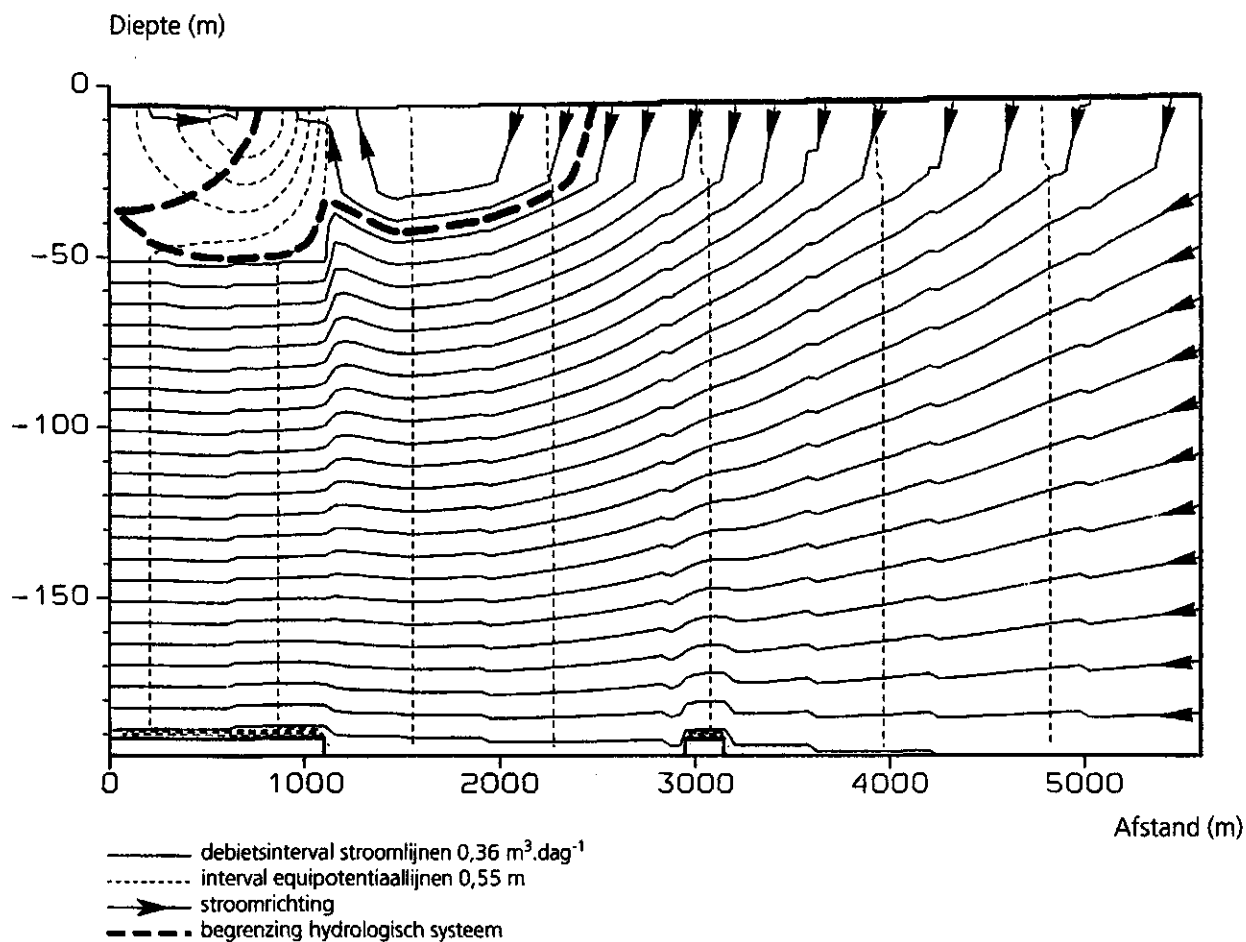


Fig. 42 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 3, natte zomer 1 apr. 87 - 1 okt. 87

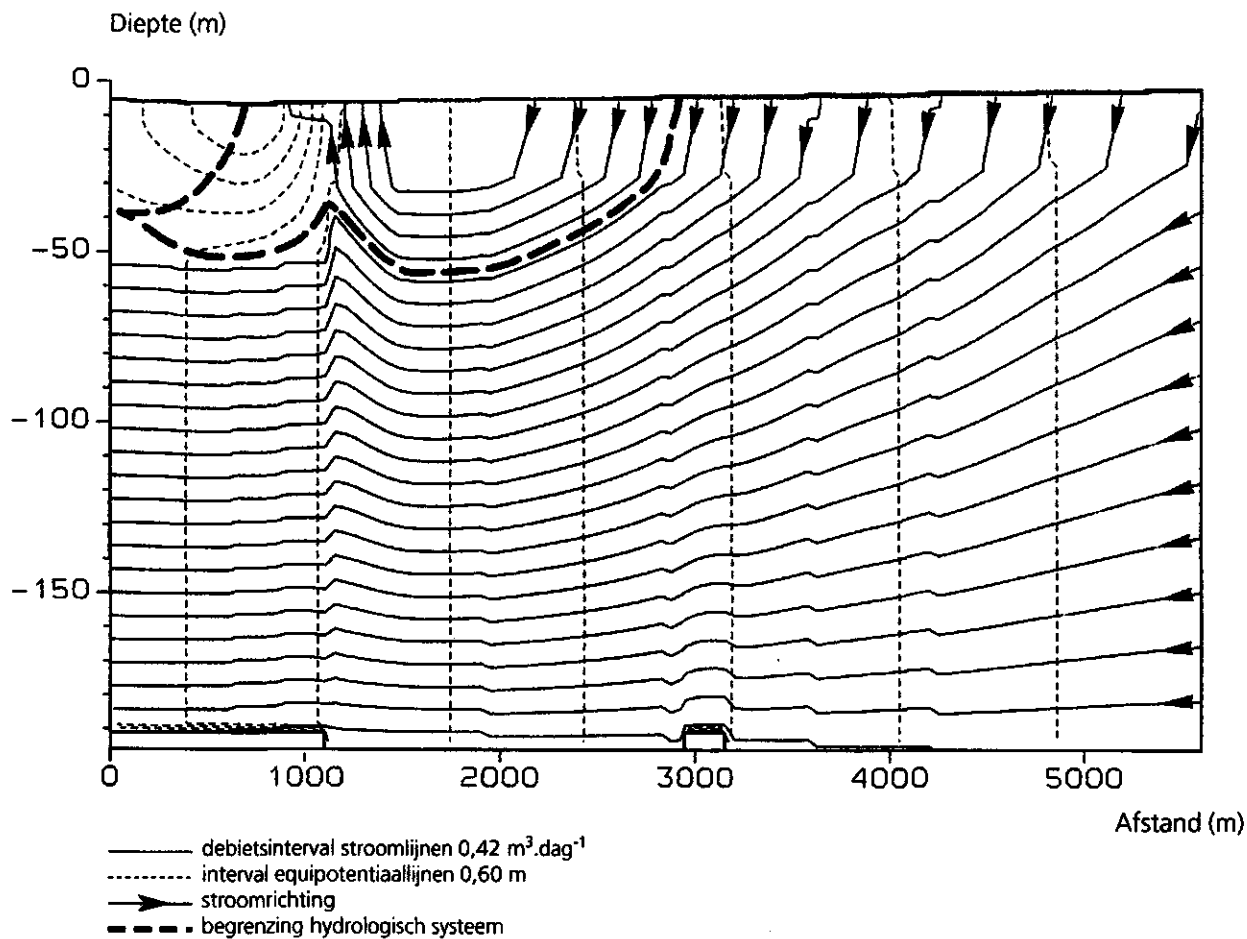


Fig. 43 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 3, gemiddelde zomer 1 apr. 88 - 1 okt. 88

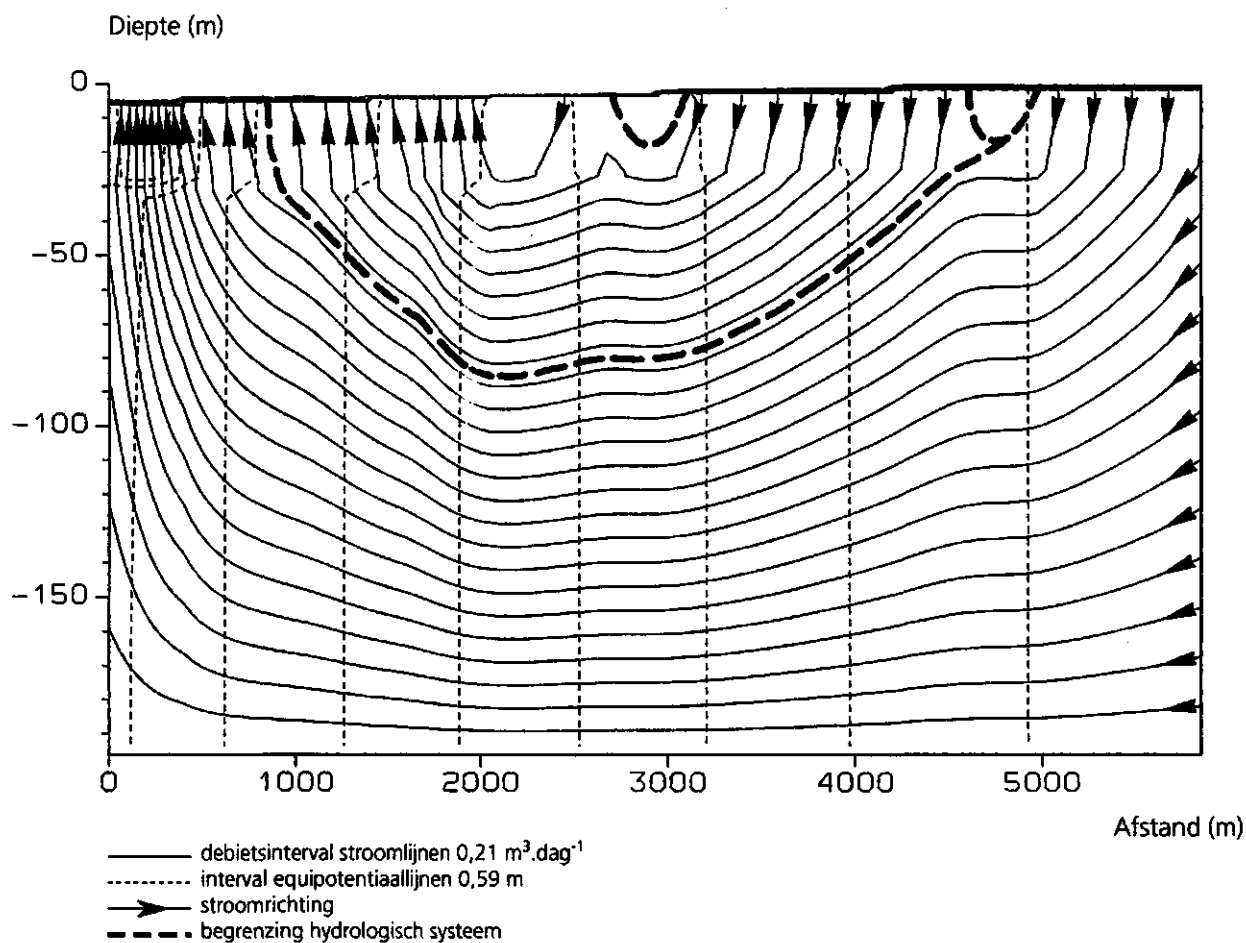


Fig. 44 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 4, droge winter 1 okt. 84 - 1 apr. 85

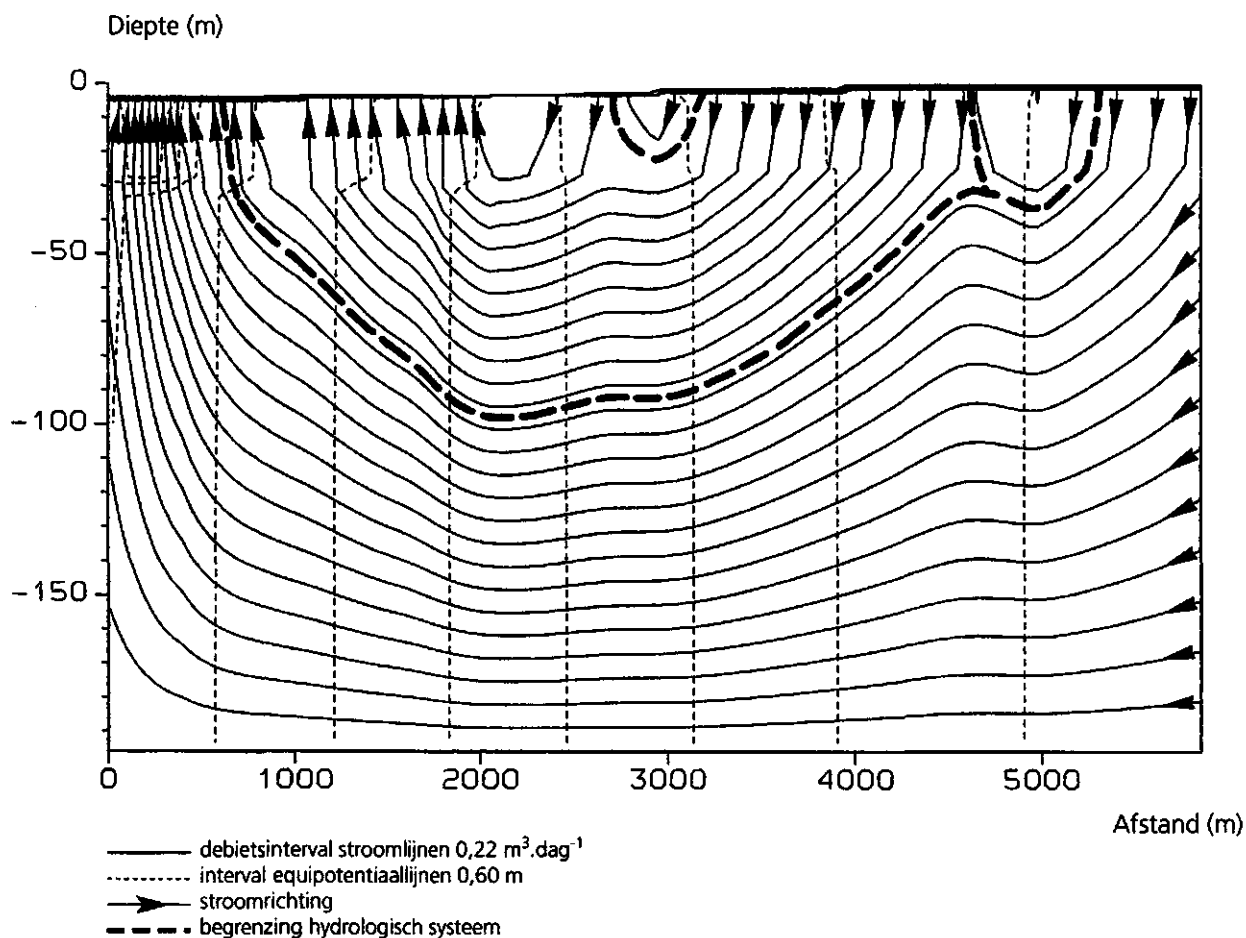


Fig. 45 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 4, gemiddelde winter 1 okt. 85 - 1 apr. 86

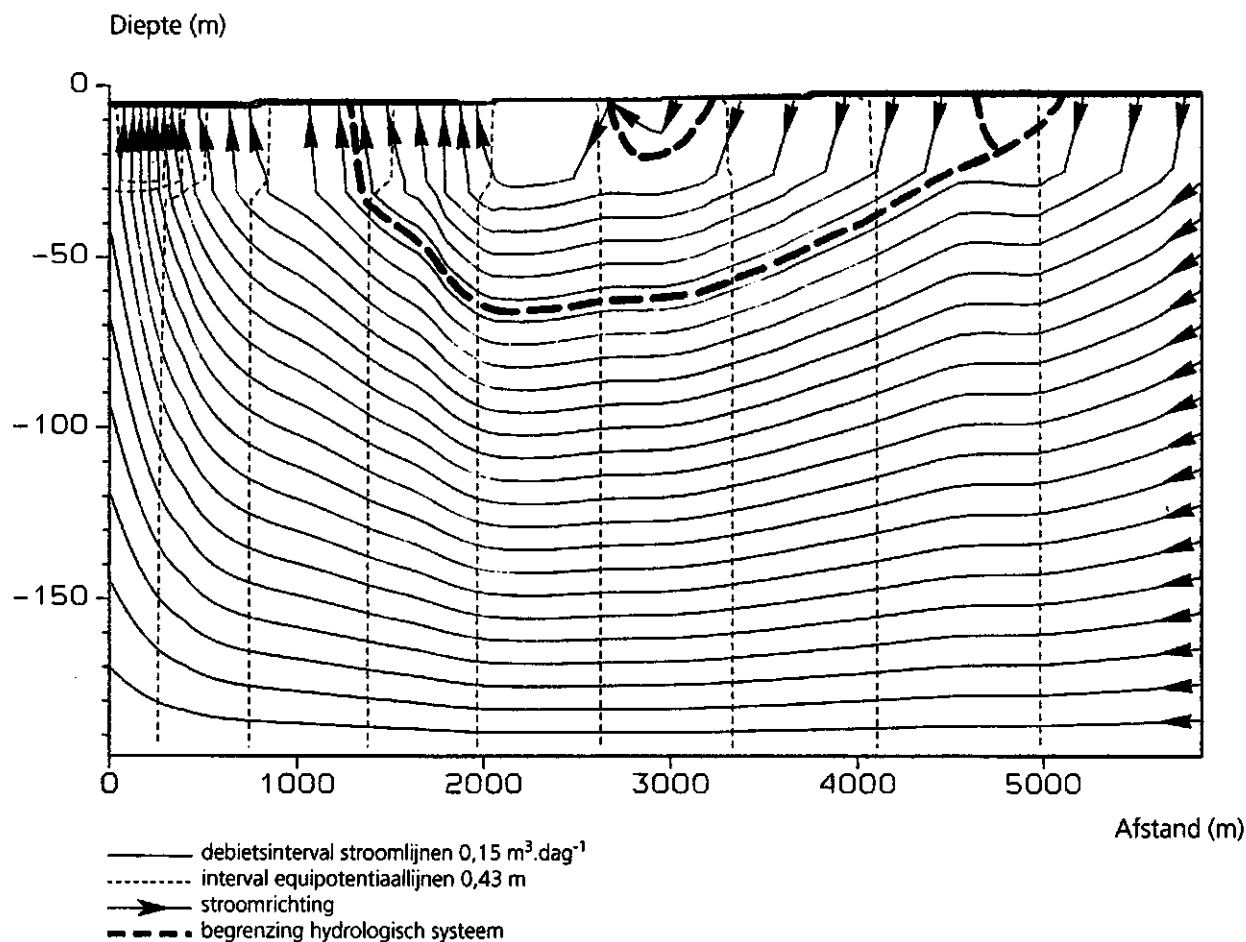


Fig. 46 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 4, droge zomer 1 apr. 86 - 1 okt. 86

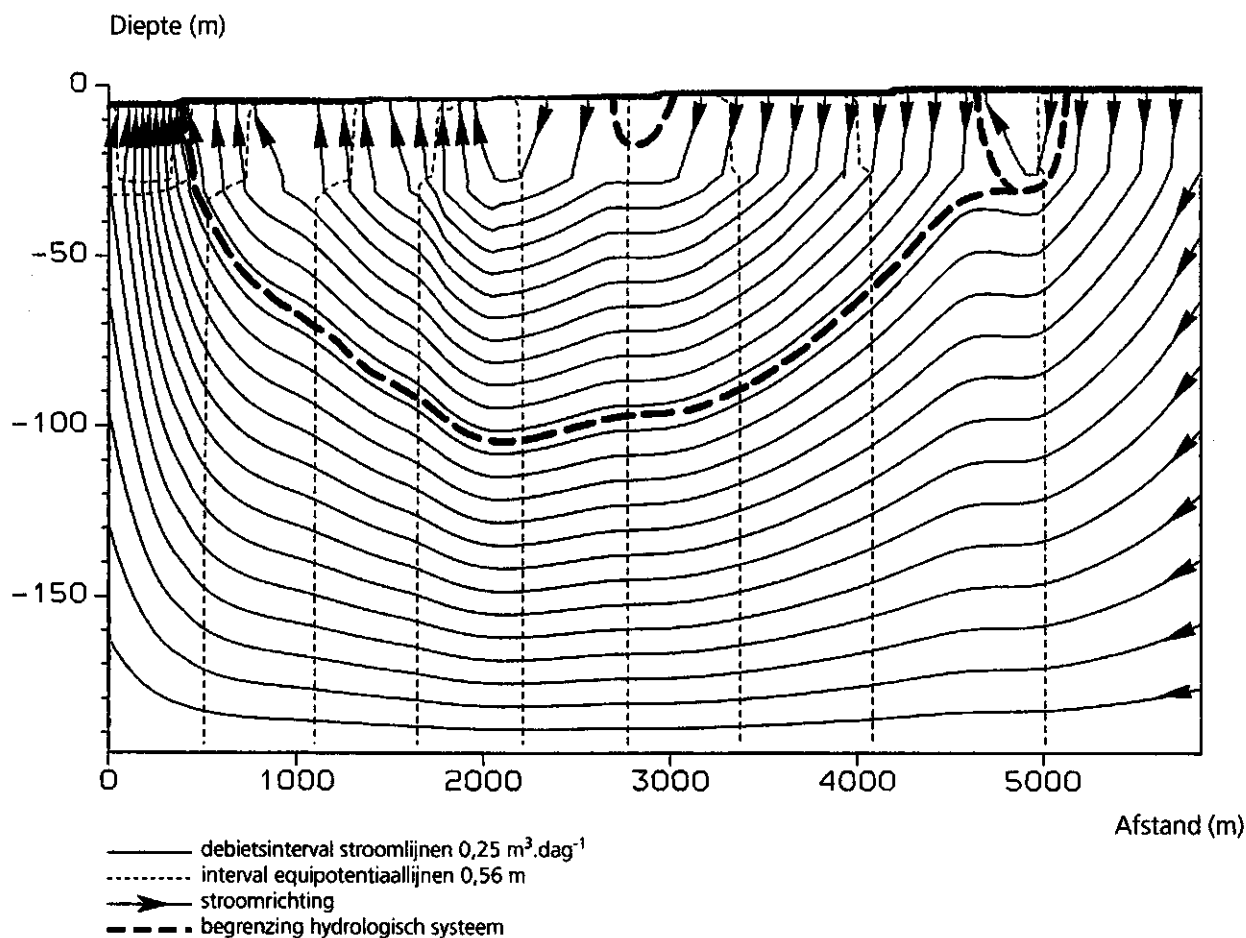


Fig. 47 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 4, natte winter 1 okt. 86 - 1 apr. 87

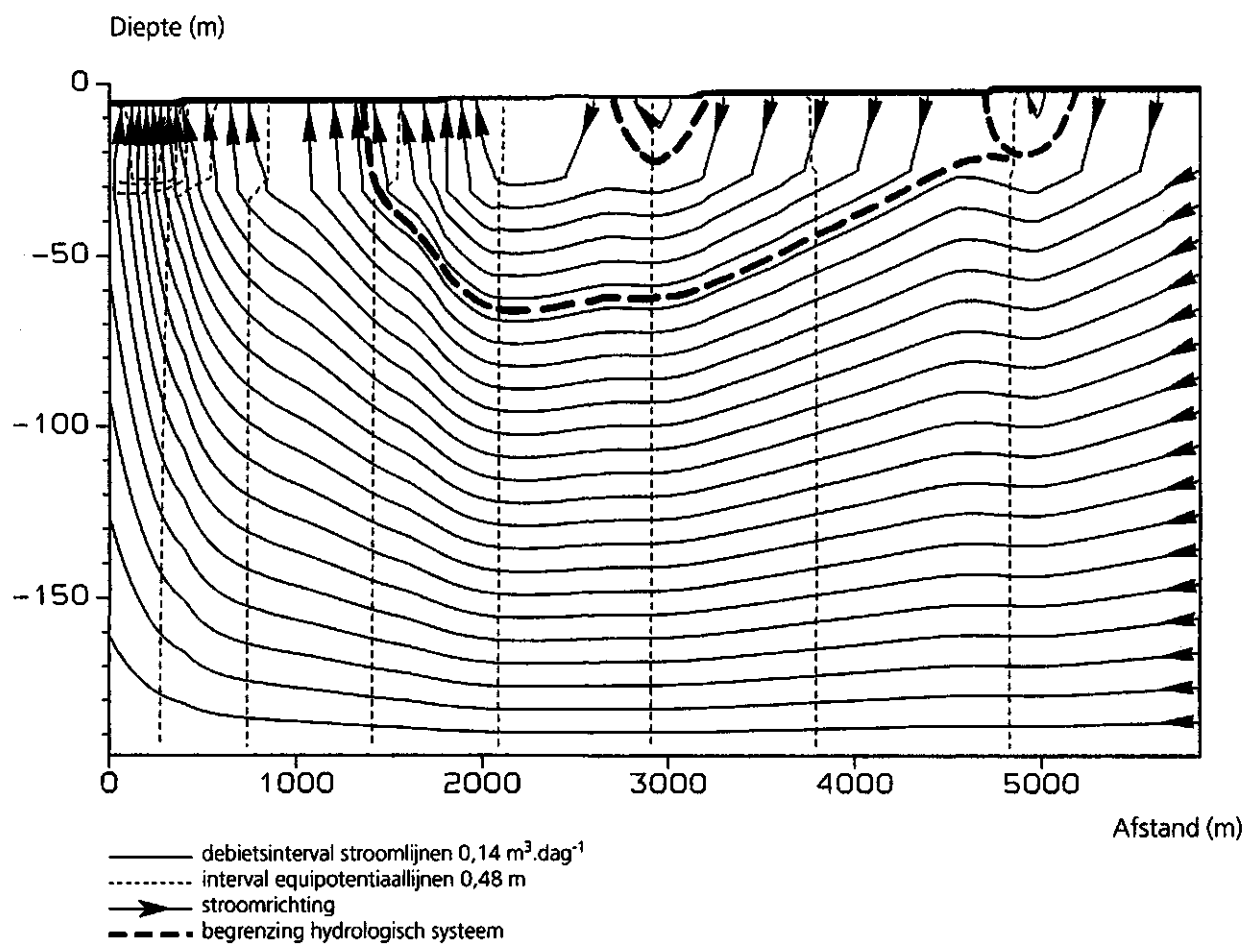


Fig. 48 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 4, natte zomer 1 apr. 87 - 1 okt. 87

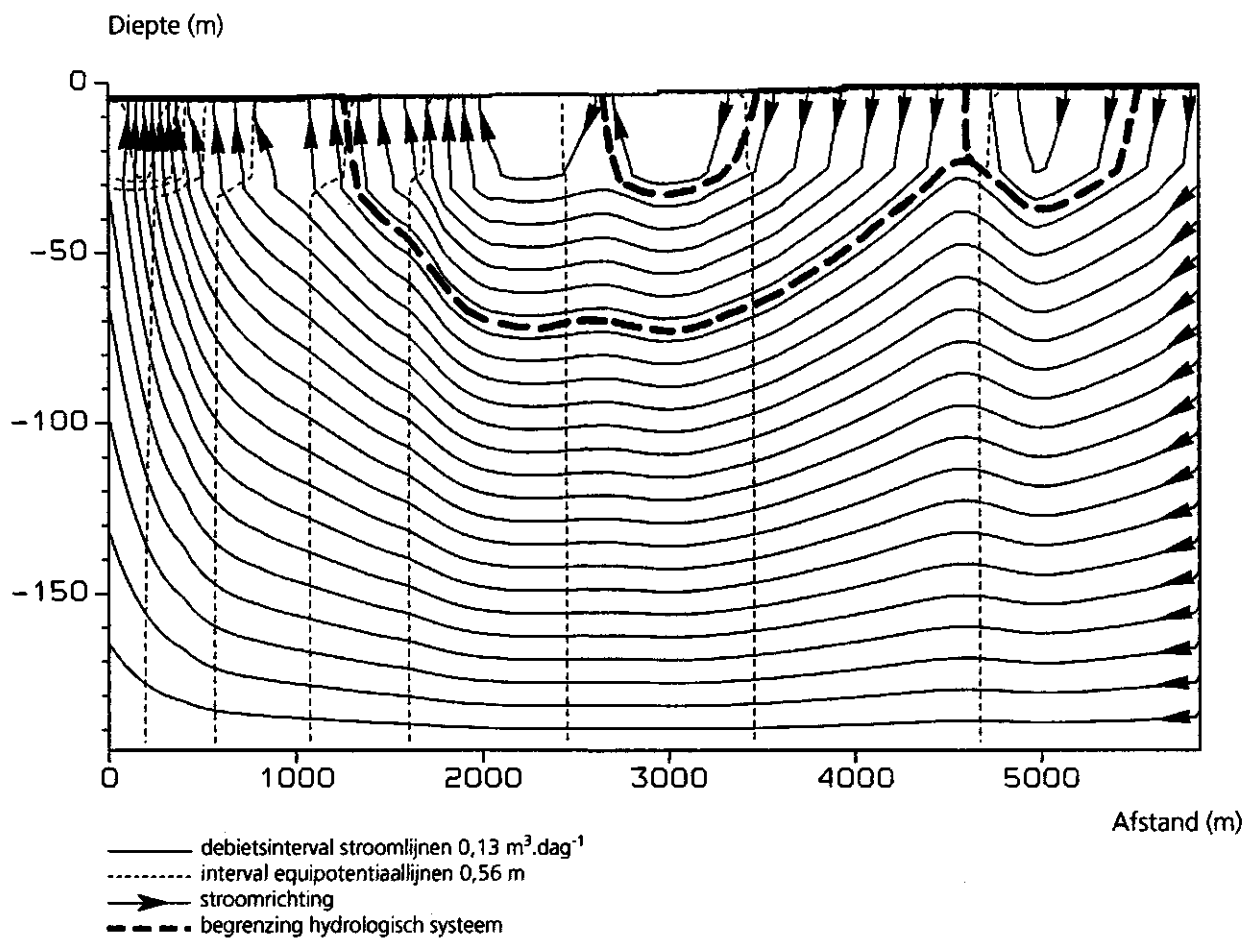


Fig. 49 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 4, gemiddelde zomer 1 apr. 88 - 1 okt. 88

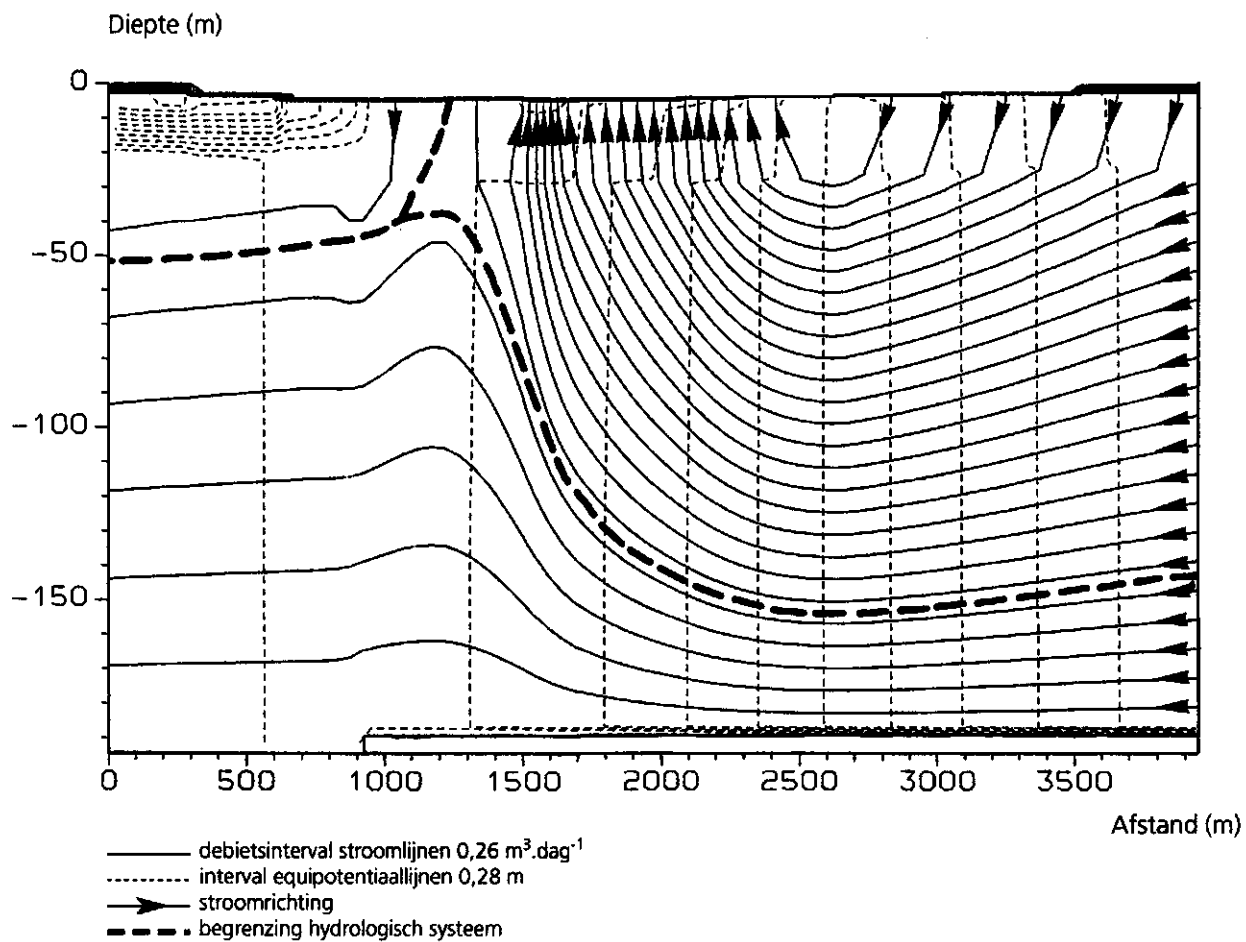


Fig. 50 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 5, droge winter 1 okt. 84 - 1 apr. 85

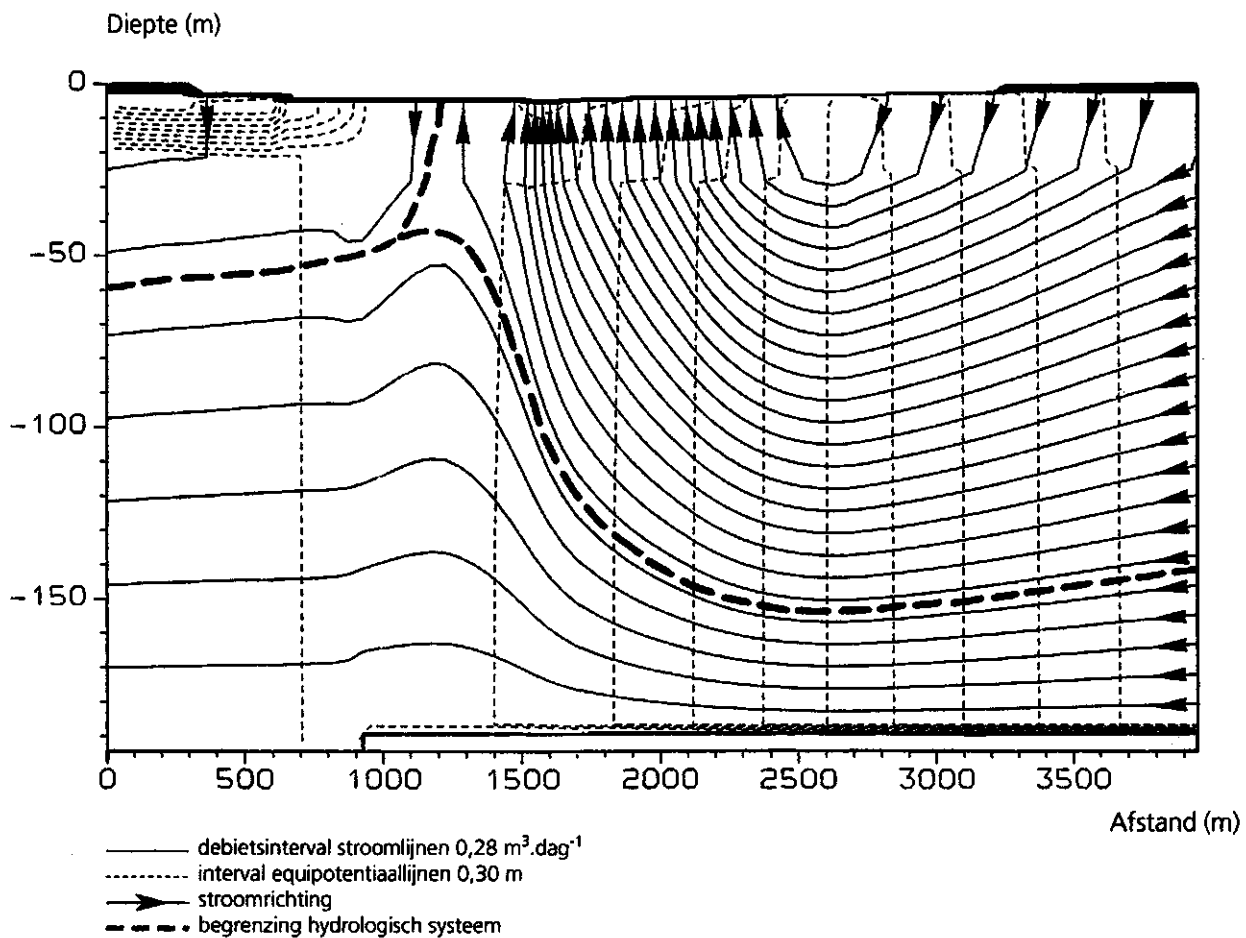


Fig. 51 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 5, gemiddelde winter 1 okt. 85 - 1 apr. 86

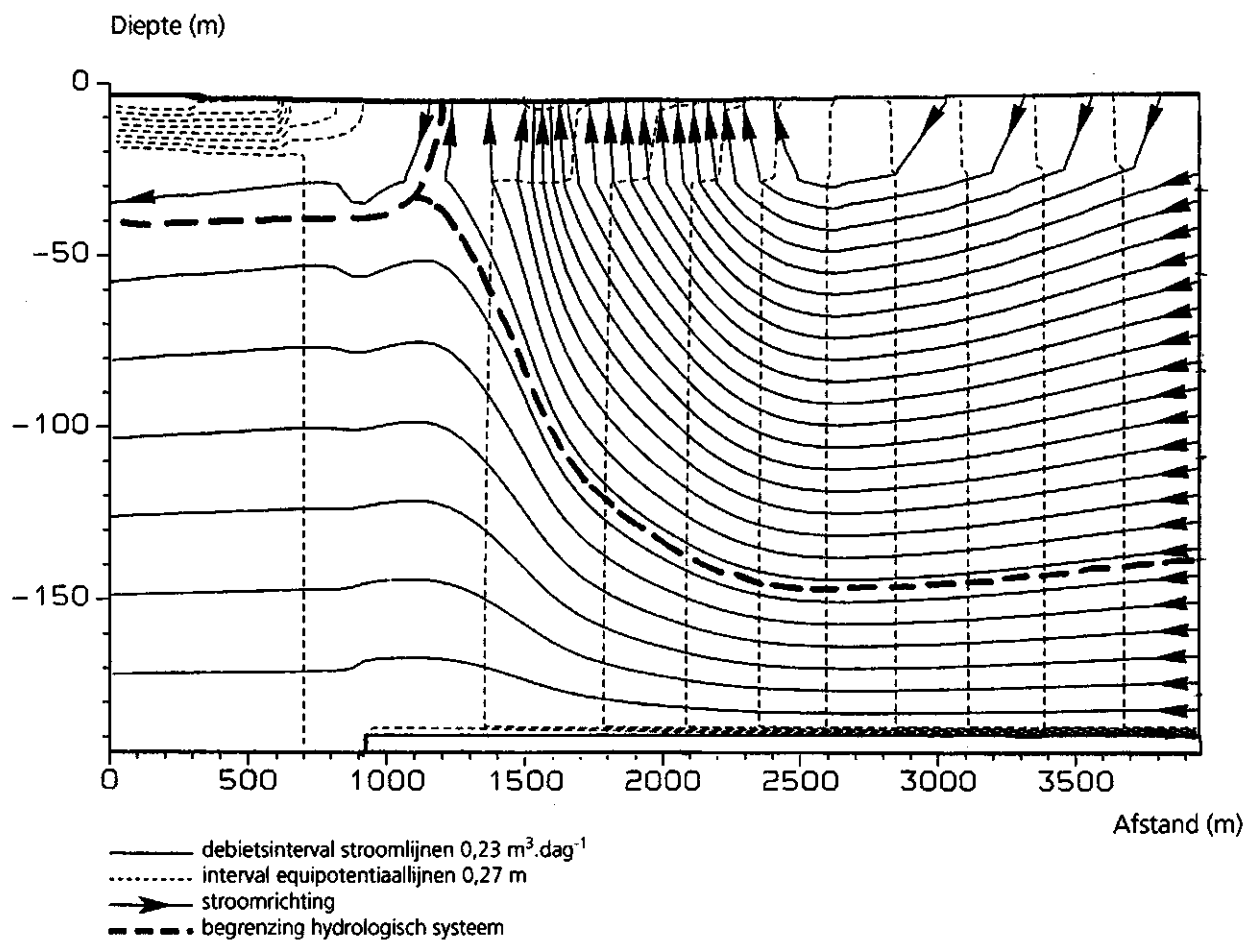


Fig. 52 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 5, droge zomer 1 apr. 86 - 1 okt. 86

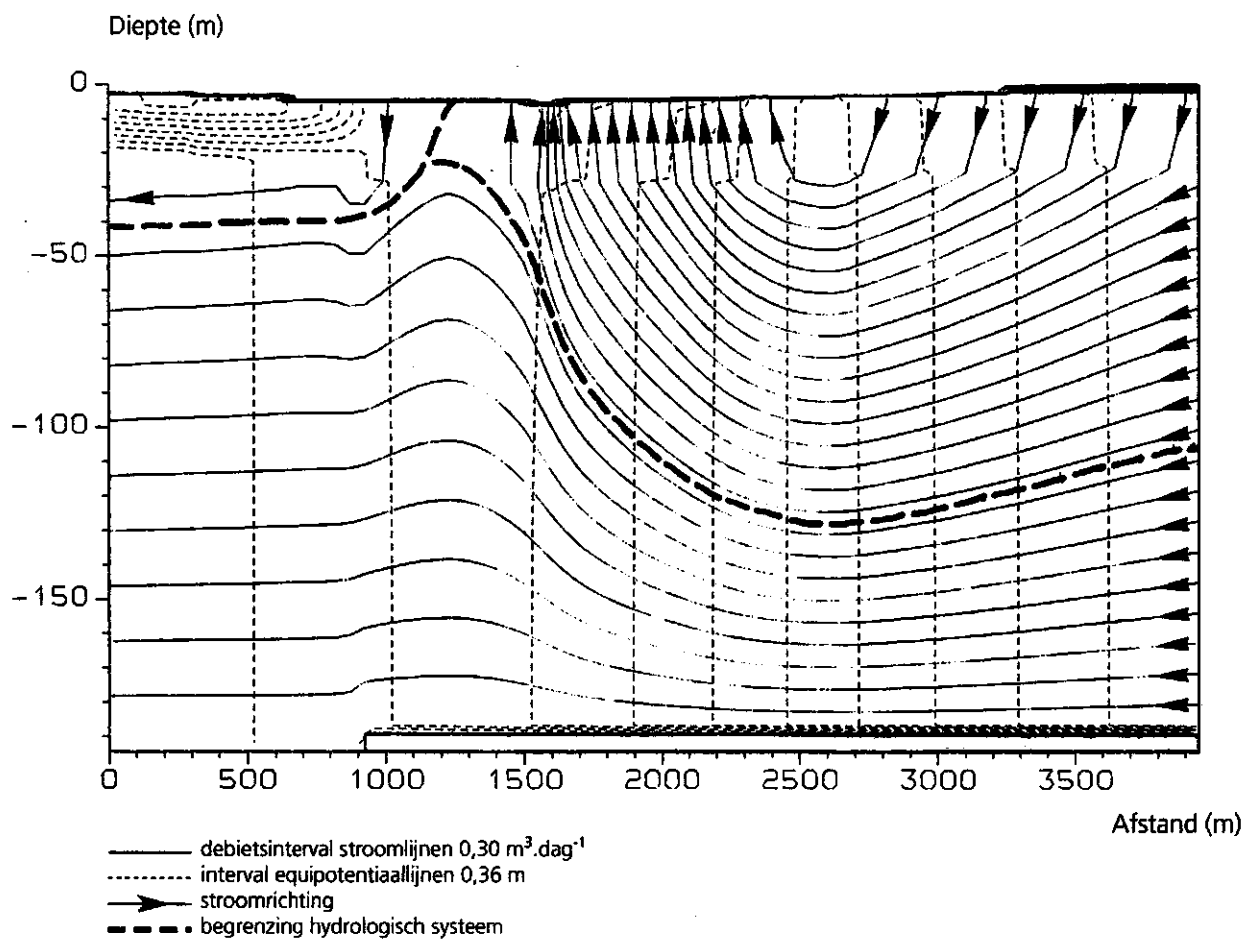


Fig. 53 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 5, natte winter 1 okt. 86 - 1 apr. 87

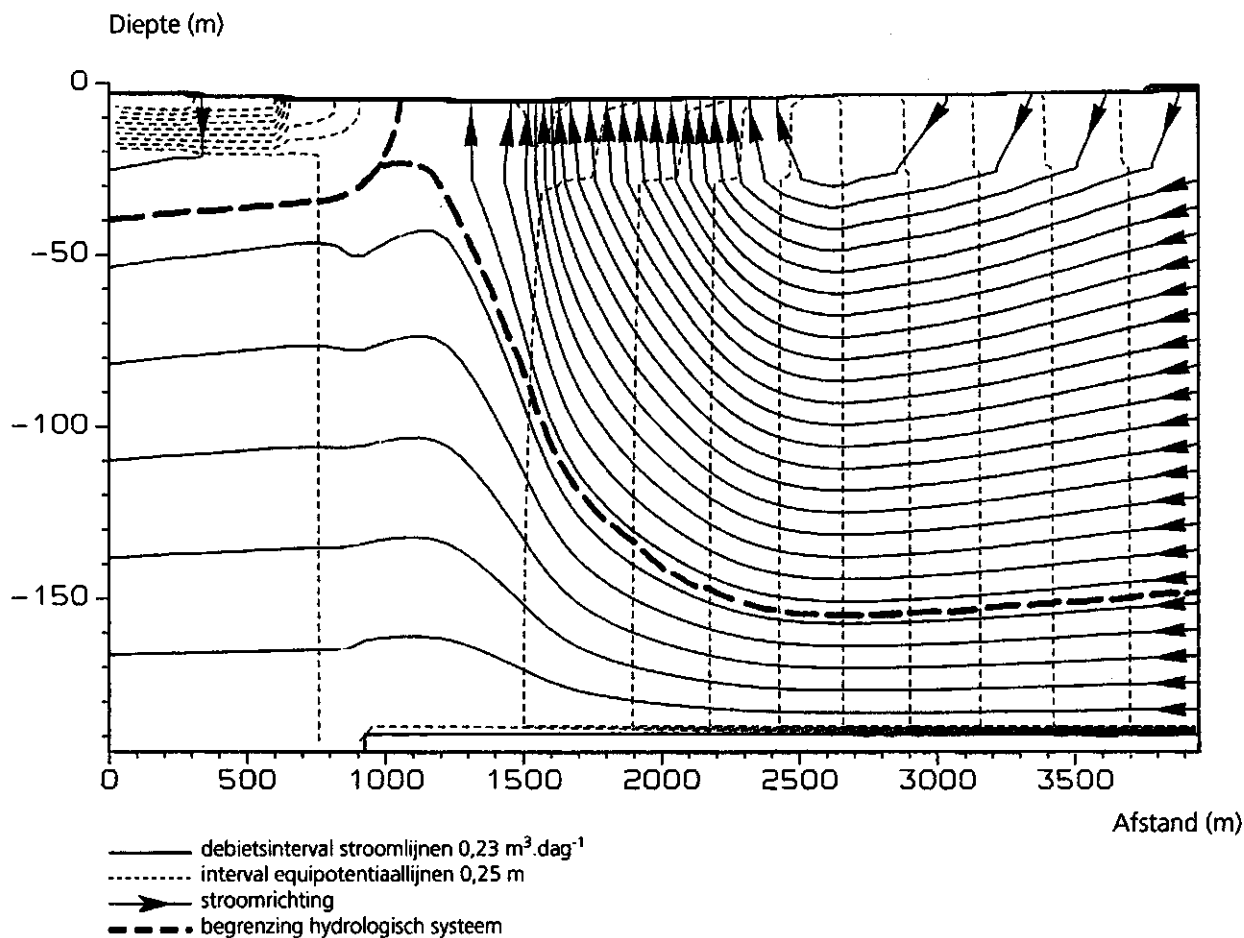


Fig. 54 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 5, natte zomer 1 apr. 87 - 1 okt. 87

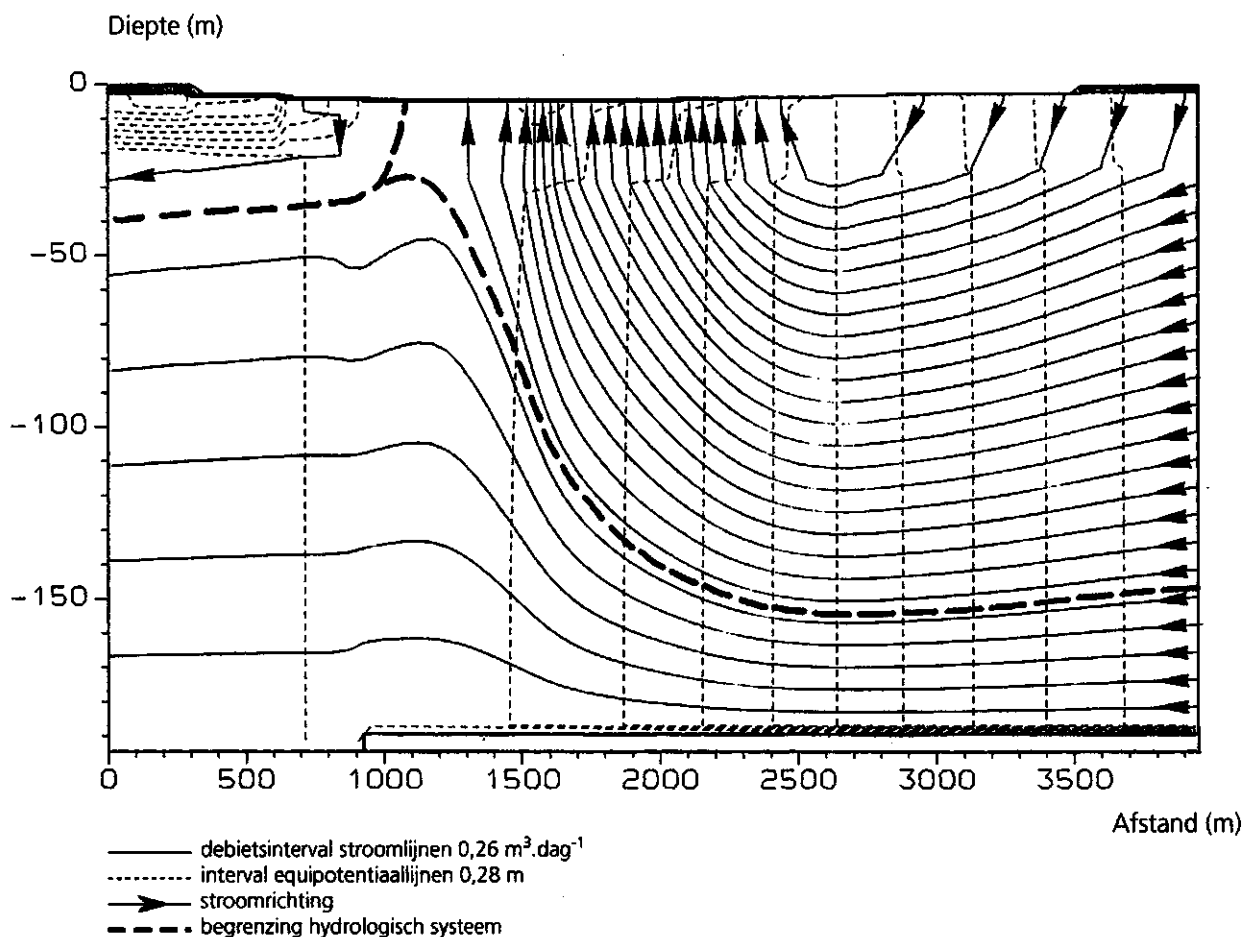


Fig. 55 Stroomlijnen en equipotentiaallijnen raai 5, gemiddelde zomer 1 apr. 88 - 1 okt. 88

Raai 1
Schematisering van de doorsnede

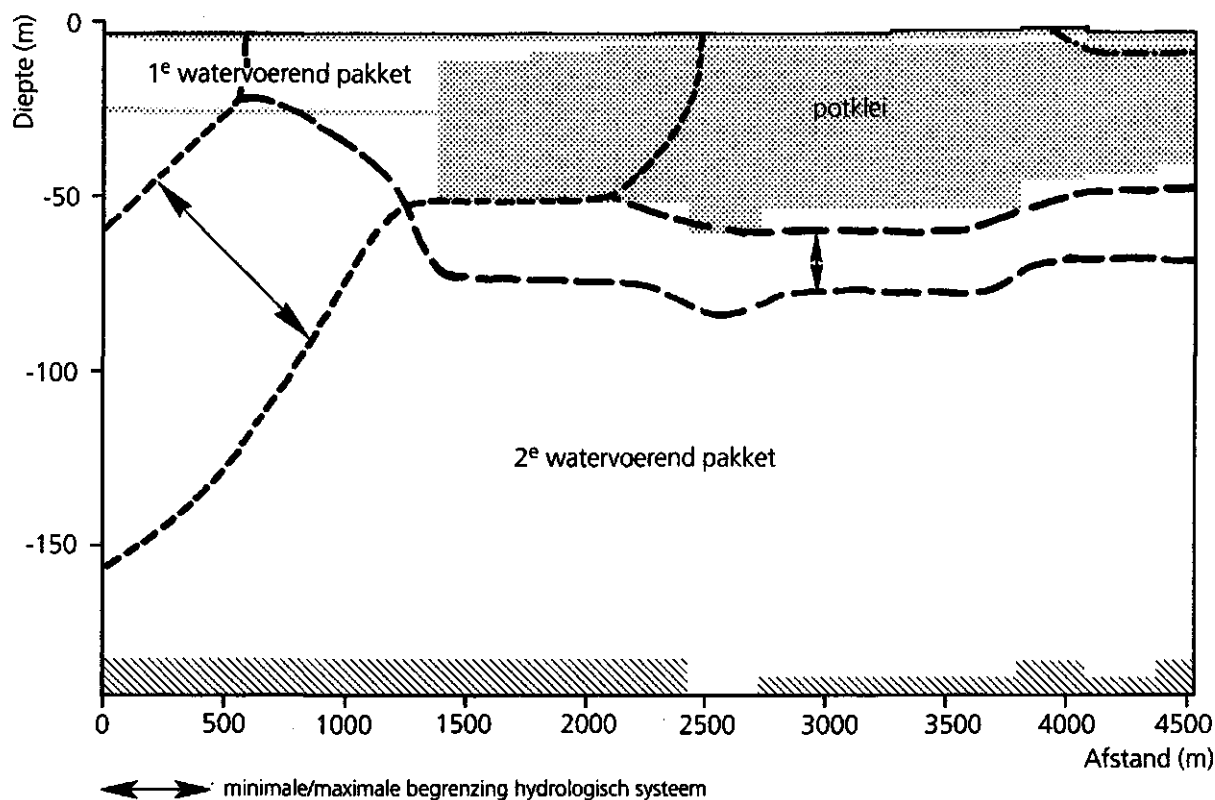


Fig. 56 Hydrologische systemen van raai 1

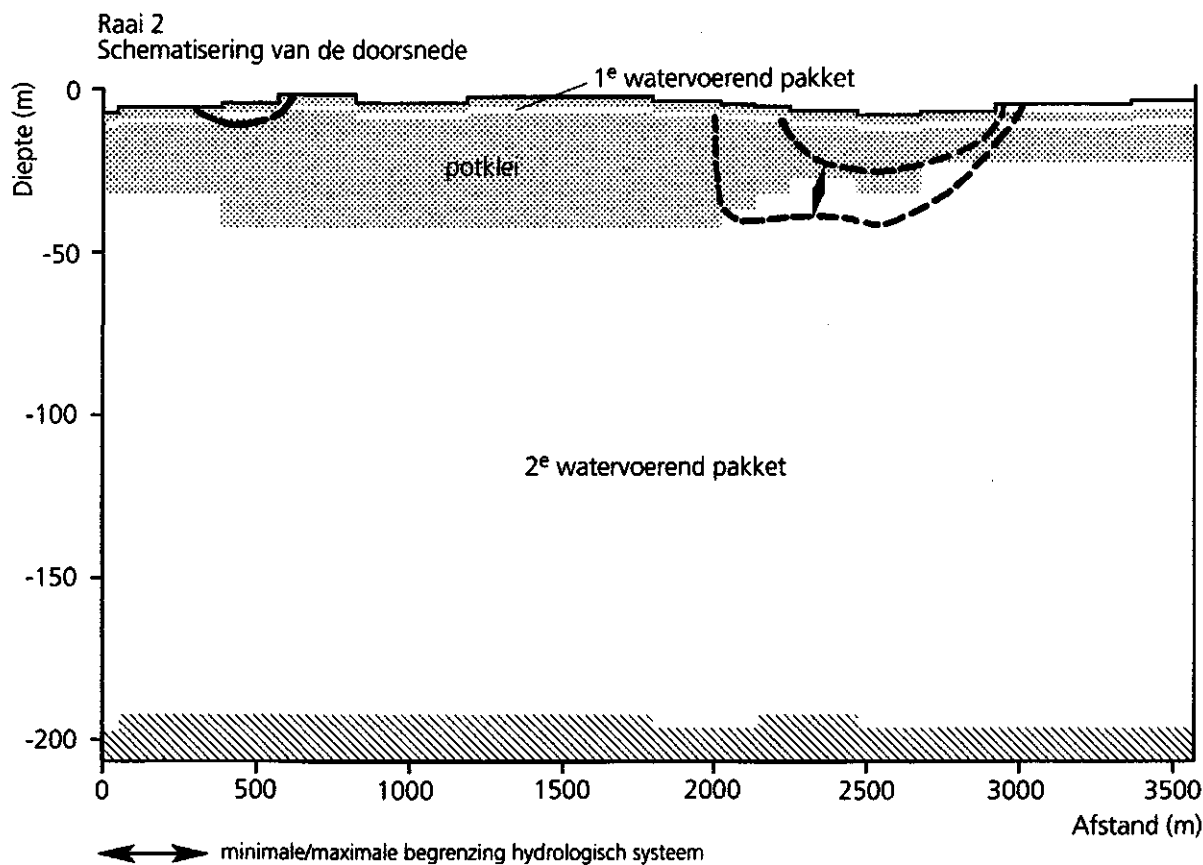


Fig. 57 Hydrologische systemen van raai 2

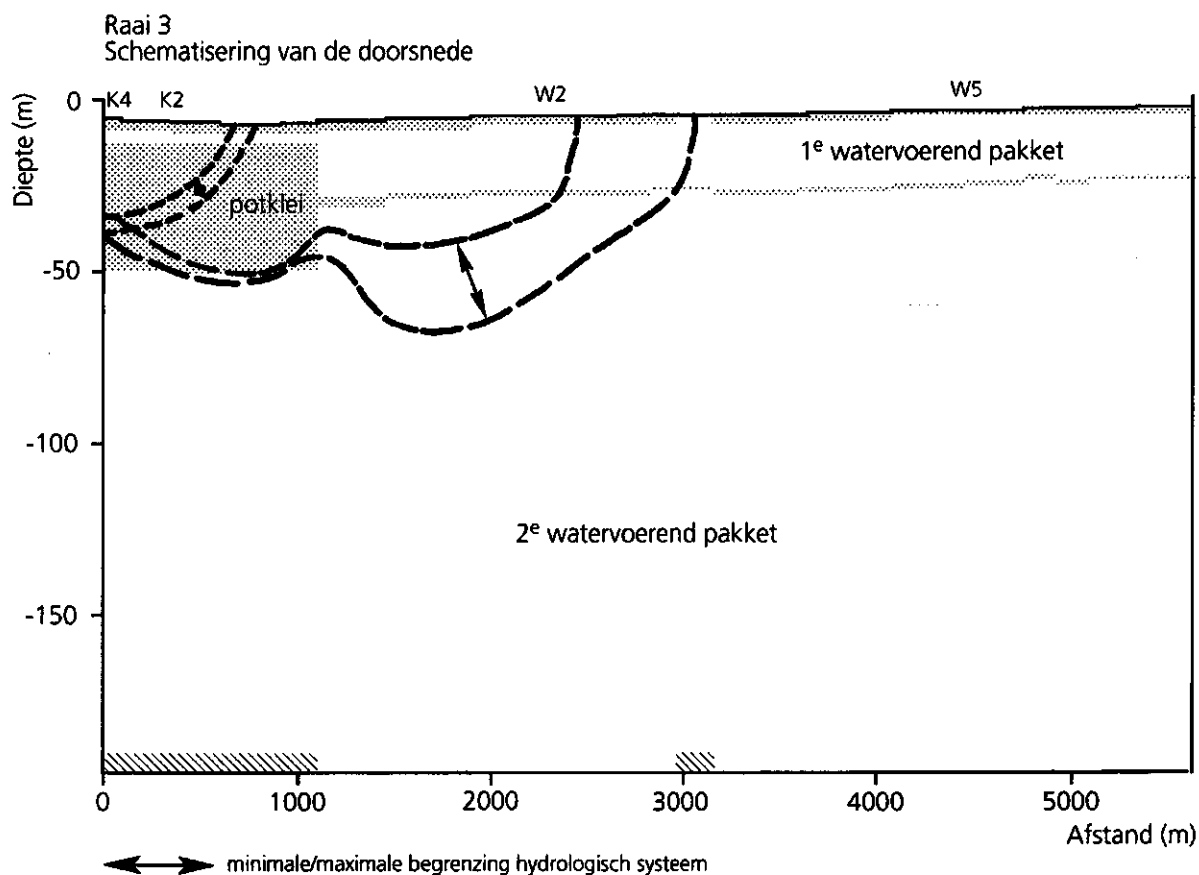


Fig. 58 Hydrologische systemen van raai 3

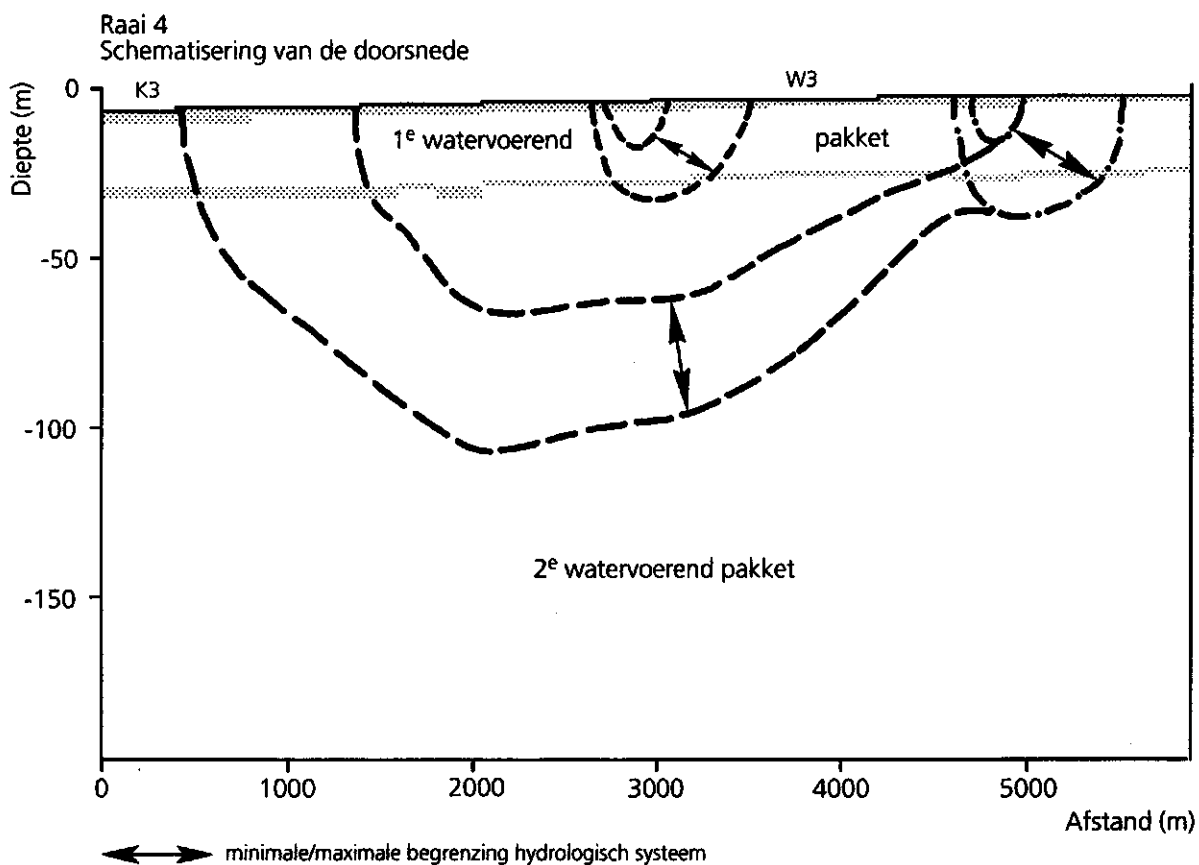


Fig. 59 Hydrologische systemen van raai 4

Raai 5
Schematisering van de doorsnede

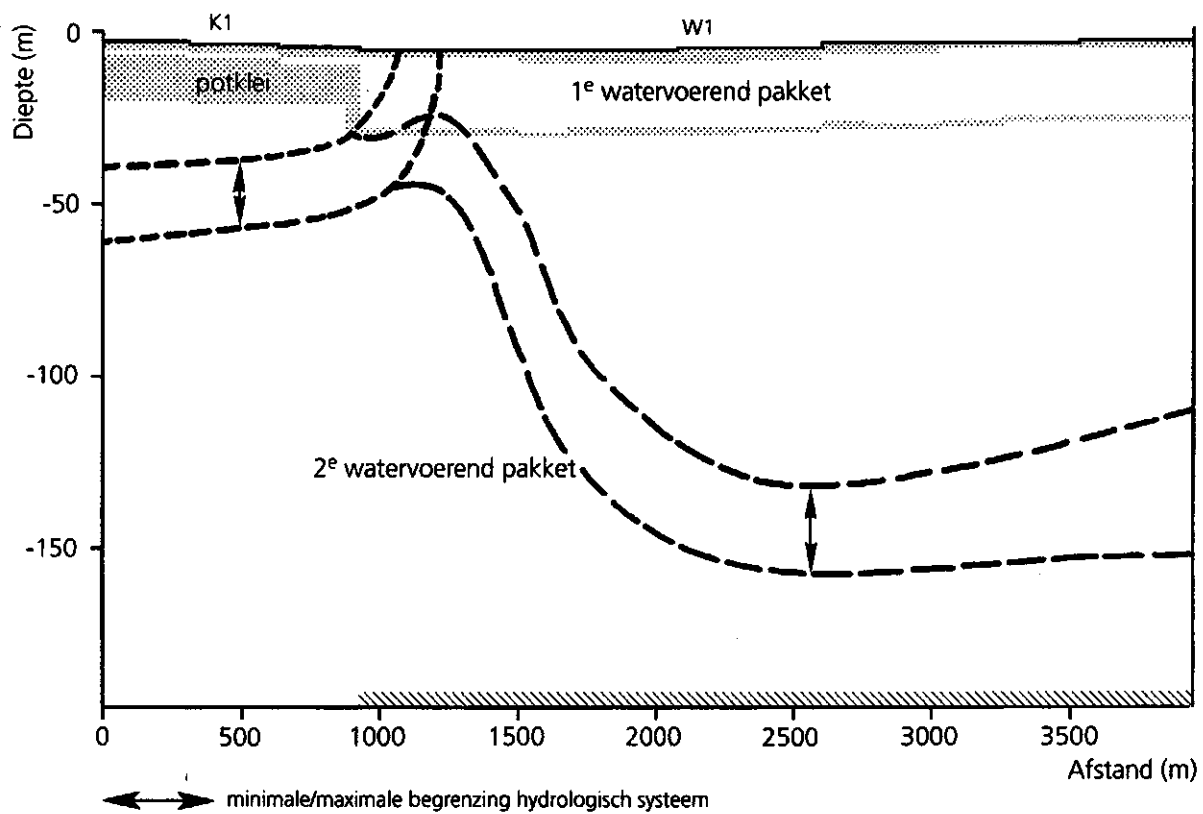


Fig. 60 Hydrologische systemen van raai 5

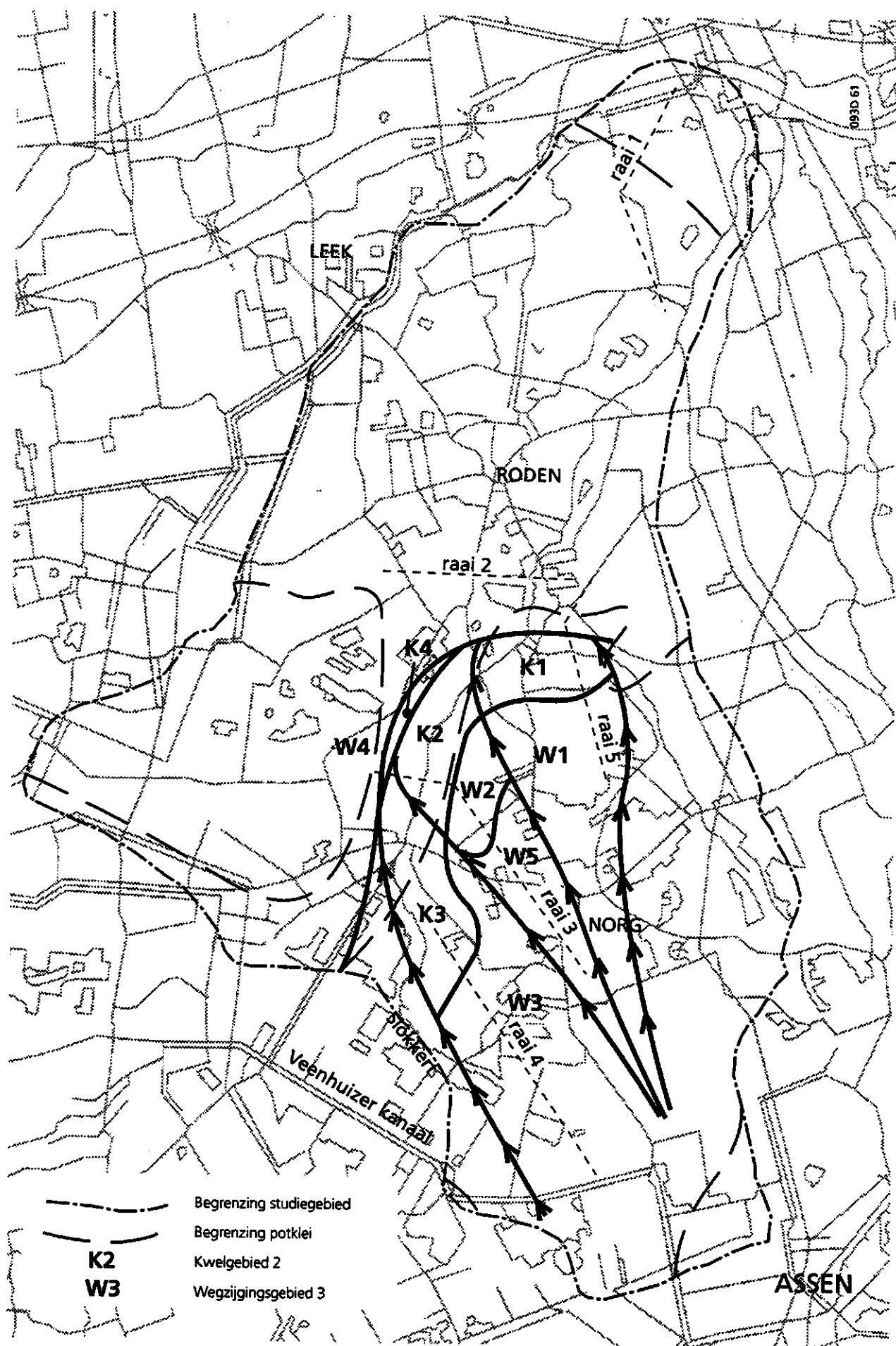


Fig. 61 Kweldgebieden met bijbehorende wegzijgingsgebieden